

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA**



Captura de carbono en un aguajal en el Área de Conservación  
Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río  
Avisado

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO AMBIENTAL**

**AUTORA**

Viviana Del Pilar Quinteros Sánchez

**ASESOR**

Wilfredo Mendoza Caballero

Lima, Perú

2022

## METADATOS COMPLEMENTARIOS

### Datos del autor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (opcional)	

### Datos del asesor

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	
Número de Orcid (obligatorio)	

### Datos del Jurado

#### Datos del presidente del jurado

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Datos del segundo miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

#### Datos del tercer miembro

Nombres	
Apellidos	
Tipo de documento de identidad	
Número del documento de identidad	

**Datos de la obra**

Materia*	
Campo del conocimiento OCDE Consultar el listado:	
Idioma (Normal ISO 639-3)	
Tipo de trabajo de investigación	
País de publicación	
Recurso del cual forma parte (opcional)	
Nombre del grado	
Grado académico o título profesional	
Nombre del programa	
Código del programa Consultar el listado:	

\*Ingresar las palabras clave o términos del lenguaje natural (no controladas por un vocabulario o tesoro).

# ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

ACTA N° 009 - 2022/UCSS/FIA/DI

Siendo las 10:00 a.m. del día 20 de enero de 2022 - Universidad Católica Sedes Sapientiae, el Jurado de Tesis, integrado por:

- |                                    |                 |
|------------------------------------|-----------------|
| 1. Maximiliana Irene Castro Medina | presidente      |
| 2. Juan Luis Ruiz Aguilar          | primer miembro  |
| 3. Claudia Fiorella Huamaní Cahuas | segundo miembro |
| 4. Wilfredo Mendoza Caballero      | asesor          |

Se reunieron para la sustentación de la tesis titulada **Captura de carbono en un aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector Río Avisado** que presenta la bachiller en Ciencias Ambientales, **Viviana Del Pilar Quinteros Sánchez** cumpliendo así con los requerimientos exigidos por el reglamento para la modalidad de titulación; la presentación y sustentación de un trabajo de investigación original, para obtener el Título Profesional de **Ingeniero Ambiental**.

Terminada la sustentación y luego de deliberar, el Jurado acuerda:

APROBAR

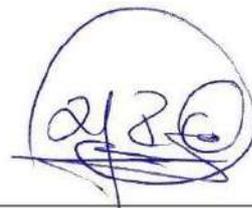
DESAPROBAR

La tesis, con el calificativo de **MUY BUENA** y eleva la presente Acta al Decanato de la Facultad de Ingeniería Agraria, a fin de que se declare **EXPEDITA** para conferirle el **TÍTULO** de **INGENIERO AMBIENTAL**.

Lima, 20 de enero de 2022.



Maximiliana Irene Castro Medina  
PRESIDENTE



Juan Luis Ruiz Aguilar  
1° MIEMBRO



Claudia Fiorella Huamaní Cahuas  
2° MIEMBRO



Wilfredo Mendoza Caballero  
ASESOR

## **DEDICATORIA**

De manera especial a mi mamá y hermana  
por su apoyo incondicional y ser parte de este  
logro.

A Camila por ser la mayor fuente de  
motivación en mi vida.

## **AGRADECIMIENTO**

A la Universidad Católica Sedes Sapientiae, Facultad de Ingeniería Agraria, en especial a los profesores que contribuyeron en mi formación profesional.

Al Mg. Wilfredo Mendoza Caballero por confiar en mi persona y asesorarme de manera permanente en la elaboración y revisión de la tesis.

Al gran grupo de personas que me acompañaron y guiaron, para realizar el trabajo de campo con sus conocimientos sobre este tipo de ecosistema, en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.

A Yakov Quinteros y Edith Sánchez, mi familia por su colaboración en la identificación de las muestras botánicas y apoyo constante e incondicional en el desarrollo de mi investigación.

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
Índice general.....	vii
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras.....	xi
Índice de apéndices.....	xii
Resumen.....	xiv
Abstract.....	xv
Introducción.....	1
Objetivos.....	3
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Bases teóricas especializadas.....	10
1.2.1. Carbono.....	10
1.2.2. Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ).....	10
1.2.3. Cambio Climático.....	11
1.2.4. Fotosíntesis.....	11
1.2.5. Protocolo de Kyoto.....	12
1.2.6. Cambio climático y humedal.....	12
1.2.7. Mitigación de Carbono.....	12
1.2.8. Captura y Almacenamiento de carbono.....	13
1.2.9. Sumidero de carbono.....	13
1.2.10. Ciclo de carbono.....	13
1.2.11. Metodologías para la estimación de biomasa y carbono.....	14
1.2.12. Ecuaciones alométricas.....	15
1.2.13. Aguajal.....	15

1.2.14. “Aguaje” .....	15
1.2.15. Humedales .....	16
1.2.16. Servicios ambientales.....	17
1.2.17. Servicios ecosistémicos de los humedales amazónicos .....	17
1.2.18. Pagos por Servicios Ambientales (PSA) .....	18
1.2.19. Tamaño de la Unidad Muestral para el inventario de Flora y vegetación.....	18
<b>CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>19</b>
2.1. Diseño de la investigación .....	19
2.2. Lugar y Fecha .....	19
2.3. Población y muestra.....	22
2.4. Técnicas e instrumentos.....	22
2.5. Descripción de la investigación .....	22
2.6. Identificación de las variables y su mensuración.....	28
2.7. Análisis estadístico de datos.....	31
<b>CAPÍTULO III: RESULTADOS .....</b>	<b>32</b>
3.1. Riqueza de palmeras y especies arbóreas en la zona de estudio .....	32
3.2. Especies ecológicamente importantes en la zona de estudio .....	36
3.3. Biomasa aérea y carbono de los árboles y palmeras en la zona de estudio .....	38
3.4. Pago por el servicio ambiental de captura de carbono.....	47
<b>CAPÍTULO IV: DISCUSIONES .....</b>	<b>48</b>
4.1. Riqueza de palmeras y especies arbóreas en la zona de estudio .....	48
4.2. Especies ecológicamente importantes en la zona de estudio .....	50
4.3. Biomasa aérea y carbono de los árboles y palmeras en la zona de estudio.....	50
4.4. Pago por el servicio ambiental de captura de carbono.....	53

<b>CAPÍTULO V: CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES.....</b>	<b>57</b>
<b>Referencias .....</b>	<b>58</b>
<b>Terminología.....</b>	<b>67</b>
<b>Apéndices.....</b>	<b>69</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. <i>Tamaño mínimo de la unidad muestral para determinadas formaciones vegetales</i> .....	18
Tabla 2. <i>Modelos recomendados para cada género de palmeras para estimar la biomasa aérea..</i> .....	24
Tabla 3. <i>Variable en estudio.</i> .....	29
Tabla 4. <i>Especies registradas con un solo individuo</i> .....	33
Tabla 5. <i>Resultados del inventario con DAP <math>\geq</math> 10 cm en la zona de estudio</i> .....	34
Tabla 6. <i>Índice de Valor de Importancia</i> .....	37
Tabla 7. <i>Prueba U de Mann-Whitney</i> .....	44
Tabla 8. <i>Análisis de Varianza de carbono en la biomasa aérea</i> .....	45
Tabla 9. <i>Prueba no paramétrica T3 de Dunnett</i> .....	46
Tabla 10. <i>Dióxido de carbono capturado por las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso y aguajal semidenso</i> .....	46
Tabla 11. <i>Pago por Servicio ambiental (PSA) por las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso y aguajal semidenso</i> .....	47

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
<i>Figura 1.</i> Diagrama de la fotosíntesis.....	11
<i>Figura 2.</i> Diagrama del Ciclo del Carbono .....	14
<i>Figura 3.</i> Mapa de ubicación del área de estudio.....	21
<i>Figura 4.</i> Curvas de acumulación de especies en la zona de aguajal denso .....	35
<i>Figura 5.</i> Curvas de acumulación de especies en la zona de aguajal semi denso.....	36
<i>Figura 6.</i> Especies que registraron mayor biomasa aérea en el aguajal denso .....	38
<i>Figura 7.</i> Especies que registraron mayor biomasa aérea en el aguajal semi denso.....	39
<i>Figura 8.</i> Captura de carbono estimada por las especies arbóreas y palmeras del aguajal denso .....	40
<i>Figura 9.</i> Captura de carbono estimada por las familias del aguajal denso .....	41
<i>Figura 10.</i> Captura de carbono estimada por las especies arbóreas y palmeras del aguajal semidenso .....	42
<i>Figura 11.</i> Captura de carbono estimada por las familias del aguajal semidenso .....	43

## ÍNDICE DE APÉNDICES

	Pág.
Apéndice 1. Abundancia de las palmeras y especies arbóreas con DAP $\geq$ 10 cm por hectárea en la zona aguajal denso.....	69
Apéndice 2. Abundancia de las palmeras y especies arbóreas con DAP $\geq$ 10 cm por hectárea en la zona aguajal semidenso .....	70
Apéndice 3. Biomasa aérea, carbono, CO <sub>2</sub> y precio de carbono por hectárea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso .....	72
Apéndice 4. Biomasa aérea, carbono, CO <sub>2</sub> y precio de carbono por hectárea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal semidenso.....	73
Apéndice 5. Biomasa aérea, carbono, CO <sub>2</sub> y precio de carbono por familia en la zona aguajal denso .....	75
Apéndice 6. Biomasa aérea, carbono, CO <sub>2</sub> y precio de carbono por familia en la zona aguajal semidenso.....	76
Apéndice 7. Abundancia, biomasa aérea, carbono, CO <sub>2</sub> y valorización del servicio ambiental de captura de carbono del aguajal denso y aguajal semidenso.....	77
Apéndice 8. Listado de todas las palmeras y especies arbóreas con valor de mayor a menor promedio de carbono capturado por parcela en Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal-Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado.....	78
Apéndice 9. Estado de conservación de las palmeras y especies arbóreas (DAP $\geq$ 10 cm) del Aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado .....	80
Apéndice 10. Cuadro comparativo de resultados obtenidos sobre carbono capturado en la biomasa arbórea de otros humedales del Perú.....	83
Apéndice 11. Mapa de ubicación de las parcelas evaluadas en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.....	84
Apéndice 12. Ecosistema aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado .....	85

Apéndice 13. Especies arbóreas en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.....	86
Apéndice 14. Georreferenciación de las palmeras.....	86
Apéndice 15. Delimitación de las parcelas .....	87
Apéndice 16. Medición de altura de palmeras y especies arbóreas.....	87
Apéndice 17. Medición del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de las palmeras y especies arbóreas.....	88
Apéndice 18. Coordenadas de las parcelas en el área de estudio.....	88

## RESUMEN

Los aguajales son los humedales más importantes de la Amazonía peruana. Sin embargo, en las últimas décadas su extensión se ha visto reducida por la demanda del fruto de *Mauritia flexuosa* (extracción destructiva y cambio de uso de suelo). El objetivo del estudio fue estimar el carbono capturado en la biomasa aérea de los árboles y palmeras del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado mediante el método no destructivo y ecuaciones alométricas. Para ello, se establecieron 20 parcelas de 50 x 20 m donde se registraron todos los individuos con DAP  $\geq$  10 cm. Se encontraron 1 418 individuos, correspondientes a 36 géneros, 48 especies y 20 familias, dos especies en categoría vulnerable (*Cedrela montana* y *Cedrela odorata*) y tres especies endémicas (*Nectandra pulverulenta*, *Picramnia martiniana* y *Triplaris longifolia*) (Apéndice 9). Los aguajales denso y semidenso capturaron 83,02 y 75,10 MgC/ha<sup>-1</sup> respectivamente, no encontrándose diferencias significativas entre ambos. La valorización por captura de carbono alcanzó los valores de \$/ha 4 180,42 para el aguajal denso y \$/ha 3 781,39 para el semidenso. La valorización de captura de carbono promoverá la conservación de los aguajales estudiados; además, que permitirá mitigar el cambio climático.

**Palabras Claves:** Aguajal, captura de carbono, biomasa aérea, humedal amazónico.

## ABSTRACT

The aguajales are the most important wetlands in the Peruvian Amazon. However, in recent decades its extension has been reduced by the demand for the *Mauritia flexuosa* fruit (destructive extraction and change in land use). The objective of the study was to estimate the carbon captured in the aerial biomass of the aguajal trees and palms in the Aguajal Renacal Alto Mayo Water Association Municipal Conservation Area, Avisado river sector using the non-destructive method and allometric equations. For this, 20 plots of 50 x 20 m (1 000 m<sup>2</sup>) were established, where all individuals with DBH  $\geq$  10 cm were registered. Were found 1 418 individuals, corresponding to 36 genera, 48 species and 20 families, two species in the vulnerable category (*Cedrela montana* and *Cedrela odorata*) and three endemic species (*Nectandra pulverulenta*, *Picramnia martiniana* and *Triplaris longifolia*) (Appendix 9). The dense and semidense aguajales captured 83,02 and 75,10 MgC/ha<sup>-1</sup> respectively, not finding significant differences between them. The valuation for carbon sequestration reached the values of \$/ha. 4 180,42 for dense aguajal and \$/ha. 3 781,39 for semi-dense. The valorization of carbon capture will promote the conservation of the aguajales studied; furthermore, it will allow mitigating climate change.

Key Words: Aguajal, carbon sequestration, aerial biomass, Amazonian wetland.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos 100 años se ha perdido más del 60 % de los humedales del planeta, siendo una de las principales causas el cambio de uso del suelo ocasionado por actividades agrícolas, deforestación, crecimiento urbano y sobre pastoreo (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT], 2003). Los humedales son grandes depósitos de carbono, su pérdida o degradación hace que se liberen considerables cantidades de CO<sub>2</sub> y demás gases de efecto invernadero a la atmósfera (Jumbo *et al.*, 2015; Ten *et al.*, 2013; Convención Ramsar, 1999).

El Perú cuenta con una variedad de humedales, siendo los aguajales (ecosistemas con dominancia de *Mauritia flexuosa*) los humedales más importantes de la Amazonía peruana, por su extensión y la cantidad de recursos naturales que en ellos podemos encontrar (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015a). *Mauritia flexuosa* es una palmera nativa con amplia distribución en toda la cuenca amazónica; es una especie dioica de clima tropical que crece en terrenos hidromórficos, inundables o pantanosos con alto contenido de materia orgánica. Estas palmeras forman extensas poblaciones denominados aguajales que son refugio para la vida silvestre. Además, brindan diversos servicios ecosistémicos como captura de carbono, regulación del ciclo hídrico y del clima, alimento para los pobladores y fauna que dependen de ese ecosistema (González-Boscán, 2016). Los aguajales son considerados ecosistemas frágiles que se ven amenazados por un aprovechamiento insostenible de los recursos que dispone. En general, es poca o nula la capacitación técnica que generan los gobiernos regionales hacia las poblaciones que aprovechan este ecosistema, siendo eliminados para el establecimiento de cultivos de “arroz” cultivo muy valorado y rentable económicamente en la zona (Ruiz y Levistre, 2011).

El Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado cuenta con un área de 3 479,8 hectáreas, ubicada en el departamento de San Martín provincia de Moyobamba(ver Apéndice 11) en este ecosistema abundan las palmeras principalmente *Mauritia flexuosa*, *Mauritiella armata*, *Euterpe precatoria*, *Oenocarpus mapora* y *Socratea exorrhiza*; además, de registrar especies forestales como *Virola elongata* y

*Symphonia globulifera* y una variedad de árboles como renacales (*Coussapoa trinervia* y *Ficus* sp.) con pluralidad de plantas epífitas; todas éstas adaptadas a esta clase de ambiente con inundaciones estacionales y en otros casos con niveles de agua permanente (ver Apéndice 13).

Sin embargo, este aguajal se encuentra vulnerable y amenazado por el cambio de uso de suelo para ampliación de la frontera agrícola, además del aprovechamiento insostenible de los recursos naturales que posee, dando como resultado la pérdida y degradación de este ecosistema, por ende, la reducción de la biomasa de estos aguajales y teniendo como consecuencia que la captura de CO<sub>2</sub> mediante fotosíntesis sea mucho menor (Fuentes y García, 2013).

Debido a la fragilidad de estos ecosistemas, la necesidad de conservar y cubrir vacíos de información existente sobre captura de carbono para este tipo de ecosistemas amazónicos “aguajal” principalmente en la selva alta de Perú, surgió el interés de estimar el carbono capturado en la biomasa aérea de los árboles y palmeras del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado, mediante el método no destructivo, utilizando fórmulas alométricas, ello implicó tomar datos de campo donde se registraron todos los individuos con DAP  $\geq 10$  cm que permitió determinar la biomasa aérea, el carbono, el CO<sub>2</sub> capturado y finalmente se valorizó el servicio ambiental de captura de carbono del aguajal.

El desarrollo de la presente investigación está estructurado en capítulos:

Capítulo I: Antecedentes y bases teóricas especializadas; Capítulo II: Materiales y métodos, diseño de investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos, descripción de la investigación, identificación de las variables y análisis estadístico de datos; Capítulo III: Resultados; Capítulo IV: Discusiones; Capítulo V: Conclusiones y Capítulo VI: Recomendaciones. Asimismo, contiene referencias, terminología y apéndices donde se encuentran las tablas y fotografías empleadas en el desarrollo de la investigación.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Estimar el carbono capturado en la biomasa aérea de los árboles y palmeras del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.

### Objetivos específicos

- Determinar la riqueza de especies ( $DAP \geq 10$  cm) del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.
- Identificar las especies ecológicamente más importantes del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.
- Estimar la biomasa aérea y carbono de los árboles y palmeras presentes en el aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.
- Valorizar el servicio ambiental de captura de carbono del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

## 1.1. Antecedentes

### a. Internacional

Torres-Torres *et al.* (2017) desarrollaron una investigación en tres tipos de bosques húmedo tropical del jardín botánico del Pacífico en Colombia que cuenta con un área de 174 ha. El objetivo fue cuantificar el contenido de carbono capturado en la biomasa aérea de bosques de 12, 30 y 40 años; para ello, establecieron tres parcelas temporales de muestreo de 20 x 50 m en cada tipo de bosque, donde aplicaron un muestreo indirecto que consistió en medir el diámetro y la altura total de las especies leñosas. La biomasa aérea fue estimada mediante ecuaciones alométricas para bosques pluviales y el valor de la densidad de la madera requerida en la biomasa fue obtenido de la base global de datos de densidad de madera (Zanne *et al.*, 2009). El carbono fue estimado con la fracción propuesta por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2007 que fue 0,5 y para el CO<sub>2</sub> emplearon el factor de 3,67. El bosque de 40 años fijó 47 % de carbono de la biomasa aérea, seguido por el bosque de 30 años con 31,2 %. Por el contrario, el bosque de 12 años almacenó menor contenido de carbono con 21,6 %. Los autores concluyeron que la biomasa aérea y por ende el contenido de carbono en la vegetación aumenta con la edad de estos bosques. Por otro lado, el dióxido de carbono almacenado en promedio fue de 176,8 MgCO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>.

Araujo-Murakami *et al.* (2016) realizaron una investigación en los bosques amazónicos del Acre - Madre de Dios. El objetivo fue comparar el carbono almacenado de la biomasa y la necromasa en bosques amazónicos inundables y bosques amazónicos de tierra firme. El tamaño de la muestra fue de 6 ha donde establecieron tres parcelas de 1 ha en cada tipo de bosque, dividida en 25 subparcelas de 20 x 20 m, donde evaluaron árboles con DAP  $\geq$  10 cm.

Emplearon ecuaciones alométricas para estimar la biomasa aérea. Asimismo, usaron el paquete estadístico IBM-SPSS V.21 en el cual compararon el carbono almacenado en los dos tipos de bosques, mediante la prueba T, previa confirmación de normalidad e igualdad de varianza (prueba Levene). El carbono fue calculado usando el factor de 0,5 y para el CO<sub>2</sub> emplearon el factor de 3,67 (IPCC, 2003). El bosque inundable registró  $345,55 \pm 29,59$  Mg/ha<sup>-1</sup> y el bosque de tierra firme registró  $374,89 \pm 23,79$  Mg/ha<sup>-1</sup> de biomasa. Los investigadores concluyeron que el bosque amazónico de tierra firme presentó valores de biomasa total, biomasa aérea y valores de necromasa ( $35,25$  MgC/ha<sup>-1</sup>) superiores a los bosques amazónicos inundables donde la necromasa fue de  $18,73$  MgC/ha<sup>-1</sup>.

## **b. Nacional**

Honorio *et al.* (2015) realizaron una investigación en los bosques aluviales del norte peruano, con el objetivo de conocer la diversidad florística, la estructura y la densidad de carbono de los bosques pantanosos y estacionalmente inundables de la región Loreto. El tamaño de la muestra fue de 8,5 ha. Establecieron 17 parcelas de 0,50 ha (50 x 100 m) dividido en subparcelas de 10 x 10 m<sup>2</sup> donde evaluaron la biomasa y necromasa sobre el suelo a especies con DAP  $\geq 10$  cm, además, midieron el diámetro y la altura total de las especies leñosas (usando un clinómetro). La biomasa aérea fue calculada mediante ecuaciones alométricas de Goodman *et al.* (2013) para palmeras, con variables de DAP, altura y densidad de la madera obtenida de la base de datos de densidad de madera (Zanne *et al.*, 2009). Utilizaron el programa estadístico SPSS donde compararon valores promedios de riqueza y diversidad florística, estructura, biomasa y necromasa tanto en bosques inundables como en pantanos mediante la prueba T. Asimismo, utilizaron el programa estadístico R para determinar la variación de la composición florística en ambos bosques. Los resultados evidenciaron que los bosques pantanosos presentaban menor diversidad florística que los bosques estacionalmente inundables debido a la abundancia de la palmera *Mauritia flexuosa*. Con respecto al carbono en biomasa aérea, el ecosistema pantanoso almacenó  $196,7 \pm 33,1$  MgC/ha<sup>-1</sup> y el bosque inundable  $191,5 \pm 53,2$  MgC/ha<sup>-1</sup>. La necromasa para bosque pantanoso e inundable fue de  $5,9 \pm 1,4$  MgC/ha<sup>-1</sup> y  $6,6 \pm 1,8$  MgC/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Los investigadores concluyeron que el carbono y necromasa fueron semejantes en los dos bosques.

Pallqui *et al.* (2014) realizaron un estudio sobre dinámica, biomasa aérea y composición florística en la Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, con el objetivo de evaluar la variación florística y biomasa de los árboles. El tamaño de la muestra fue de 8,5 ha, donde establecieron nueve parcelas (siete de 1 ha, una parcela de 0,58 ha y otra de 0,42 ha) donde registraron todas las especies con DAP  $\geq$  a 10 cm. La biomasa aérea fue estimada mediante la metodología de Rainfor (Red Amazónica de Inventarios Forestales) y la densidad de la madera lo obtuvieron de la base global de datos reportados para el Neotrópico en Global Wood density database (Zanne *et al.*, 2009). Aplicaron la prueba no paramétrica de wilcoxon en el software Infostat 2013, donde compararon la variación de la biomasa entre periodos de evaluación antes y después de una sequía. Los investigadores reportaron en promedio 582 individuos y 157 especies por hectárea. Los resultados de la evaluación demostraron que existió variación de la biomasa con una ganancia de  $1,88 \text{ Mg/ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$  antes de la sequía; por el contrario, sucedió después de la sequía que registraron una pérdida de  $-0,18 \text{ Mg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$ . Por otro lado, el valor de biomasa aérea almacenada en aguajales en promedio fue  $296,2 \pm 33,9 \text{ Mg/ha}^{-1}$ .

Malca *et al.* (2013) desarrollaron un estudio en el Centro de Investigaciones de Recursos Naturales de la Amazonía en Loreto, con el objetivo de determinar el estado situacional del aporte de la biomasa y captura de carbono en los bosques del departamento. Para lo cual evaluaron 11 unidades fisiográficas en siete provincias mediante el método combinado, es decir, el método de estimación mediante imágenes satelitales y el método no destructivo (valores obtenidos del trabajo en campo). El carbono fue calculado usando el factor de 0,5 (IPCC, 2003). El resultado de la evaluación de biomasa en aguajales fue de  $245,50 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; en áreas deforestadas  $11 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; en bosque húmedo de colina alta fue de  $260 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; en bosque húmedo de colina baja  $185 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; bosque húmedo de llanura meándrica  $277,74 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; bosque húmedo de montaña  $280 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; bosque húmedo de terraza alta  $319,58 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; bosque húmedo de terraza baja  $277,74 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; bosque húmedo de terraza media  $230,34 \text{ Mg/ha}^{-1}$ ; y en pantanos  $205,00 \text{ Mg/ha}^{-1}$ . Los bosques estudiados presentaban un área deforestada de  $1\ 630\ 137,68 \text{ ha}$ . Finalmente, la biomasa calculada para la zona de estudio fue  $7\ 436\ 871\ 901,88 \text{ Mg}$  equivalente en contenido de carbono a  $3\ 718\ 435\ 950,94 \text{ MgC}$ .

García *et al.* (2012) realizaron estudios con el objetivo de estimar la reserva de carbono orgánico del suelo (COS), biomasa aérea y necromasa en los aguajales de la parte baja y alta de la cuenca del río Aguaytía en Ucayali, Perú. Para estimar el stock de carbono utilizaron un diseño de muestreo anidado donde establecieron 18 parcelas de 25 x 100 m en el cual tomaron datos de altura y  $DAP \geq 10$  cm para la vegetación. La biomasa aérea fue estimada mediante ecuaciones alométricas y el valor de la densidad de la madera lo obtuvieron de la base de datos de Zanne *et al.* (2009). Para calcular el carbono emplearon la fracción de 0,5 propuesta por el (IPCC, 2003). Para estimar el carbono en necromasa usaron el método de intersección de línea en el cual establecieron un transecto de 100 m para medir los árboles caídos donde tomaron muestras de suelo para determinar el COS. Los resultados mostraron que el carbono en la biomasa sobre el suelo y el COS fueron  $96,33 \pm 15,16 \text{ MgC/ha}^{-1}$  y  $197,86 \pm 89,32 \text{ MgC/ha}^{-1}$  respectivamente en la zona baja y de  $51,28 \pm 16,29 \text{ MgC/ha}^{-1}$  y  $3,78 \pm 1,28 \text{ MgC/ha}^{-1}$  en la zona alta. Por otro lado, la necromasa fue el reservorio que acumuló menos carbono en ambos aguajales. Los investigadores concluyeron que el carbono orgánico del suelo en aguajales de la parte alta no es un aporte considerable, debido a su intervención antrópica; por el contrario, sucedió con la parte baja, que aportó mayor stock a la reserva de carbono.

Martel y Cairampoma (2012) realizaron un estudio en el Centro de investigación y Capacitación Río los Amigos, Madre de Dios-Perú. La investigación tuvo como objetivo estimar el carbono almacenado en tres formaciones vegetales: Bosque de terraza, Bosque inundable y aguajal, además de identificar cuál de las tres formaciones vegetales almacenaba mayor cantidad de carbono para su posterior valorización en el mercado; para ello establecieron parcelas de 4 x 25 m para biomasa aérea mediante la metodología de ecuaciones alométricas. Usaron programas de ArcGis 9,3 y Envi 4.6.1 con el cual identificaron las distintas formaciones vegetales y calcularon la biomasa aérea. El carbono fue calculado usando el factor de 0,5 y para el  $\text{CO}_2$  emplearon el cálculo realizado por el Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana (2006). Los resultados demostraron que la formación vegetal del bosque de terraza almacenó  $335,11 \text{ MgC/ha}^{-1}$ , el bosque inundable  $141,81 \text{ MgC/ha}^{-1}$  y el aguajal  $115,40 \text{ MgC/ha}^{-1}$ . Asimismo, valorizaron a 15 dólares americanos los megagramos de carbono almacenado,

obteniendo 11 649 049,2 dólares americanos por la zona de estudio. En conclusión, los bosques de terraza almacenaron mayores cantidades de carbono mediante biomasa aérea.

Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP] (2006) realizaron una investigación en bosques de aguajales denso y mixto en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto-Perú; donde cuantificaron el almacenamiento y fijación de carbono, además de establecer lineamientos para la determinación de carbono en ecosistemas inundables de la Amazonía peruana. Para ello tomaron dos parcelas de 2 500 m<sup>2</sup> para cada tipo de bosque; y cuantificaron la biomasa aérea mediante datos de altura, número de hojas y DAP; mientras que para sotobosque y necromasa aplicaron muestreo destructivo en las especies predominantes (*Mauritia flexuosa* y *Mauritiella aculeata*). Extrajeron 16 palmeras para la estimación de la biomasa aérea. El resultado arrojó que el contenido de carbono en necromasa y vegetación fue de 484,52 MgC/ha<sup>-1</sup> y de 115,40 MgC/ha<sup>-1</sup> para aguajal denso, mientras que para el aguajal mixto fue de 424,72 MgC/ha<sup>-1</sup> y 88,50 MgC/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Los investigadores concluyeron que la Reserva Nacional Pacaya Samiria con sus 598 970 ha de aguajales densos fijó potencialmente 131 188,76 MgC/año equivalente en CO<sub>2</sub> a 481 025,44 Mg/año, por otro lado, el aguajal mixto con 372 145 ha fijó un aproximado de 81 599,47 MgC/año equivalente a 299 198,05 Mg/año de CO<sub>2</sub>.

### **c. Regional**

Tarrillo (2020) desarrolló su trabajo de investigación en un área de conservación privada ubicado en el distrito de Calzada, región San Martín con una extensión de 8 ha. La investigación tuvo como objetivo evaluar la cantidad de carbono capturado en el tallo, hoja y en el suelo por la palmera *Mauritia flexuosa* en bosques denso y semi denso. Para evaluar la biomasa en tallos y hojas estableció una parcela de 5 x 100 m (500 m<sup>2</sup>) para aguajal denso y otra para semidenso. Para evaluar la biomasa en el suelo realizó una calicata de 25 x 25 cm con una profundidad 30 cm dentro de las parcelas de 5 x 100 m (500 m<sup>2</sup>) donde evaluó todos los árboles mayores. Dichas parcelas fueron ubicadas al azar en la zona de estudio. El carbono capturado fue evaluado mediante la metodología de ecuaciones alométricas no destructivas. La investigación fue de tipo

descriptivo y no experimental. Para comparar la biomasa entre el rodal denso y semi denso realizó análisis de comparación de medias de Tukey y aplicó ANOVA. Los resultados encontrados demostraron que el rodal denso capturó 363,99 MgC/ha<sup>-1</sup> en la biomasa aérea y el rodal semidenso almacenó 156,96 MgC/ha<sup>-1</sup>. En conclusión, el rodal denso almacenó mayor cantidad de carbono mediante biomasa aérea, a diferencia de rodal semidenso.

Quinteros *et al.* (2016) realizaron estudios sobre ecología, uso y conservación de los aguajales en el Alto Mayo. El objetivo de la investigación fue caracterizar una población de aguaje en el distrito de Posic provincia de Rioja, región San Martín. Para la caracterización florística establecieron ocho parcelas de 40 x 100 m divididas en subparcelas de 10 x 10 m, donde registraron todos los individuos de *Mauritia flexuosa*. Como resultado identificaron 118 especies divididas en 45 familias y 88 géneros: las familias con mayor riqueza de especies fueron Melastomataceae, Fabaceae con 12 y 8 especies respectivamente y Arecaceae con siete especies. Asimismo, reportaron 827 individuos por hectárea de *Mauritia flexuosa*, clasificados en: Plántula (501 individuos), planta juvenil (157 individuos), planta mediana (30 individuos) y planta adulta (DAP > 10 cm) 139 individuos/ha. La zona de estudio correspondió a un aguajal mixto. Los investigadores concluyeron que el valor reportado de número de individuos de *Mauritia flexuosa* fue alta, el cual se debió a que los aguajales estaban conservados por los pobladores dueños de las parcelas.

Asner *et al.* (2014) realizaron estudios para conocer la densidad de carbono sobre el suelo y las reservas totales de carbono en 174 áreas protegidas del Perú, siendo una de estas el Valle del Alto Mayo. La metodología empleada fue por sensoramiento remoto que combinó la información geográfica con la satelital, a través de la tecnología LIDAR (Los Instrumentos de Detección y Rango de luz). Como resultado, el carbono almacenado en la biomasa aérea para el Valle del Alto Mayo fue de 57,9 MgC/ha<sup>-1</sup>. Los investigadores concluyeron que es accesible obtener una geografía de alta resolución de las reservas de carbono sobre el suelo para el Perú, para la gestión adecuada de los recursos allí disponibles.

Lapeyre *et al.* (2004) desarrollaron estudios con el objetivo de cuantificar las reservas de carbono en la biomasa aérea en bosque primario, bosque secundario, sistemas agrícolas y sistemas agroforestales en San Martín. Para determinar la biomasa aérea utilizaron ecuaciones alométricas, obteniendo como resultado del inventario 600 individuos/ha y 485 MgC/ha<sup>-1</sup> para el bosque primario; 340 individuos/ha que almacenó 234,2 MgC/ha<sup>-1</sup> para el bosque secundario. Asimismo, 47 MgC/ha<sup>-1</sup> en sistemas de “cacao” con especies forestales y 19 MgC/ha<sup>-1</sup> para el sistema de café-guaba, siendo superiores a los valores reportados por los sistemas agrícolas que oscilaban entre 1,7 y 4 MgC/ha<sup>-1</sup>. Los investigadores concluyeron que los bosques primarios y secundarios son grandes reservorios de carbono, asimismo el carbono de los sistemas agroforestales evaluados (“café”, “guaba” y “cacao”) en la biomasa aérea capturaron mayor carbono que los sistemas agrícolas y pastos manejados, siendo una opción para recuperar áreas degradadas.

## **1.2. Bases teóricas especializadas**

### **1.2.1. Carbono**

El carbono es el elemento químico orgánico esencial para la vida, el cual se encuentra entre los océanos, la atmósfera, el suelo y el subsuelo. Es parte de procesos naturales como la fotosíntesis y la respiración de los seres vivos, así como procesos antropogénicos (gases que emanan tanto las fuentes móviles como fijas). En la naturaleza el carbono se encuentra en diamante (cada átomo enlazado a otros cuatro en una estructura tridimensional), grafito y carbono amorfo (presente en carbón de leña, coque, al quemar kerosene). El carbono es almacenado en la estructura de los árboles el cual es usado para el desarrollo y crecimiento de la planta mediante la fotosíntesis (Rügnitz *et al.*, 2009).

### **1.2.2. Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)**

Es un compuesto inorgánico generado de forma antropogénica (deforestación, cambio de uso de suelo, industrias, parque automotor, etc.) como natural. Es uno de los principales gases de

efecto invernadero y su incremento contribuye al calentamiento global (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2014).

### 1.2.3. Cambio climático

Es un problema ambiental que consiste en la alteración del clima de forma persistente por periodos prolongados, generado por procesos antropogénicos (IPCC, 2014). En el país el cambio climático se evidencia con el derretimiento de glaciares, inundaciones, sequías, huaycos, deslizamientos, entre otros. El Perú es uno de los países vulnerables ante el cambio climático, el mismo que afecta a la biodiversidad, el agua, la energía, la salud y la agricultura. Para ello se deben adoptar medidas y acciones en el hogar, casa de estudio, localidad, que permitan reducir los GEI generados por el hombre (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2009).

### 1.2.4. Fotosíntesis

La fotosíntesis es el proceso mediante el cual los vegetales y microorganismos utilizan la luz solar, el agua y el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) para transformarlo en azúcares simples y como resultado de la reacción se libera oxígeno ( $\text{O}_2$ ). A continuación, se muestra su forma simplificada:



Figura 1. Diagrama de la fotosíntesis. Fuente: Smith y Smith (2001).

Los vegetales y microorganismos emplean una molécula de agua ( $\text{H}_2\text{O}$ ) y liberan la mínima cantidad de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) por cada molécula de  $\text{CO}_2$  que reacciona y forma azúcares simples como la glucosa  $6(\text{CH}_2\text{O})$ . Después, la planta empleará esos azúcares en la producción de compuestos de carbono más complejos, tales como carbohidratos y proteínas. Con esos compuestos se construyen las hojas, troncos, raíces, flores y semillas.

La clorofila es un pigmento que actúa como una antena, absorbiendo energía a partir de la luz (Smith y Smith, 2001).

#### **1.2.5. Protocolo de Kyoto**

El Protocolo de Kyoto es un acuerdo mundial que firmaron varios países con el fin de reducir los Gases de Efecto Invernadero generados en mayor proporción por países industrializados (Dióxido de carbono, metano, óxido nitroso, hidrofluorocarbono, perfluorocarbono y hexafluoruro de azufre) causantes del calentamiento global por ende del cambio climático, firmado el 11 de diciembre de 1997 y ratificado el 16 de febrero del 2005. Por otro lado, establece lineamientos para que los países industrializados reduzcan las emisiones a través de mecanismos flexibles: a) comercio de emisiones, consiste en la compra y venta de permisos de contaminación a otros países b) mecanismos de desarrollo limpio, hace referencia a proyectos en país de desarrollo c) sumideros, consiste en la absorción de dióxido de carbono en los bosques, vegetación, agricultura y tierra de cultivo (Naciones Unidas, 1998).

#### **1.2.6. Cambio climático y humedal**

Los humedales son ecosistemas frágiles que están siendo amenazados por la constante variación climática que se está evidenciando con las erosiones del suelo y la disponibilidad del agua. Los suelos de estos ecosistemas están compuestos por una cantidad significativa de materia orgánica (turba) almacenando concentraciones altas de carbono considerándolos importantes sumideros de carbono. Asimismo, poseen baja resiliencia o capacidad de recuperarse a su estado original, por todo ello deben ser considerados prioritarios en programas de conservación para la mitigación y adaptación ante el cambio climático (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2016a).

#### **1.2.7. Mitigación de carbono**

La mitigación de carbono es cualquier acción referente para disminuir las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en determinados espacios y/o ambientes geográficos; así

como el cambio del sistema energético sustituyendo los combustibles fósiles por energías renovables. Además, identifica dos opciones para la reducción de carbono en los sistemas forestales: a) conservación, que hace referencia a la conservación de los bosques y áreas protegidas evitando y reduciendo las emisiones de CO<sub>2</sub>; y b) reforestación, consiste en plantar árboles en áreas degradadas y recuperar esos espacios con diversas estrategias como restauración para fines de sostenimiento, regulación del clima, habilitación de plantíos comerciales de especies maderables, papel, así como áreas destinadas a la producción de leña, además de sistemas agroforestales (Maser, 1995).

### **1.2.8. Captura y almacenamiento de carbono**

Se basa en capturar el dióxido de carbono que se encuentra en la atmósfera como producto de las actividades antropogénicas, y posteriormente su almacenamiento por un largo período en unidades vegetales mediante el proceso de fotosíntesis, donde las plantas y algunos microorganismos capturan el CO<sub>2</sub> atmosférico para convertirlo en carbohidratos y liberar oxígeno (Lozano, 2007).

### **1.2.9. Sumidero de carbono**

Se refiere al almacenamiento natural o artificial de carbono. Las plantas, materia orgánica y microorganismos actúan como sumideros naturales de carbono. Estos sumideros contribuyen a la disminución de la concentración de uno de los gases de efecto invernadero más importantes como es el CO<sub>2</sub>, contribuyendo con la mitigación del cambio climático (Macías *et al.*, 2005).

### **1.2.10. Ciclo de carbono**

El ciclo de carbono (Figura 2) comienza con el secuestro del CO<sub>2</sub> disponible en la atmósfera a través del proceso fotosintético que llevan a cabo las plantas y algunos microorganismos. En este proceso el dióxido de carbono reacciona con el agua formando carbohidratos y luego libera O<sub>2</sub> a la atmósfera. Una gran parte de estos carbohidratos suministran energía a la vegetación; y el dióxido de carbono formado es liberado por hojas y raíces.

Otra proporción es generada por los animales y plantas mediante proceso de respiración y descomposición cuando mueren, y por microorganismos que actúan en el suelo retornando el CO<sub>2</sub> a la atmósfera (Burbano-Orjuela, 2018).

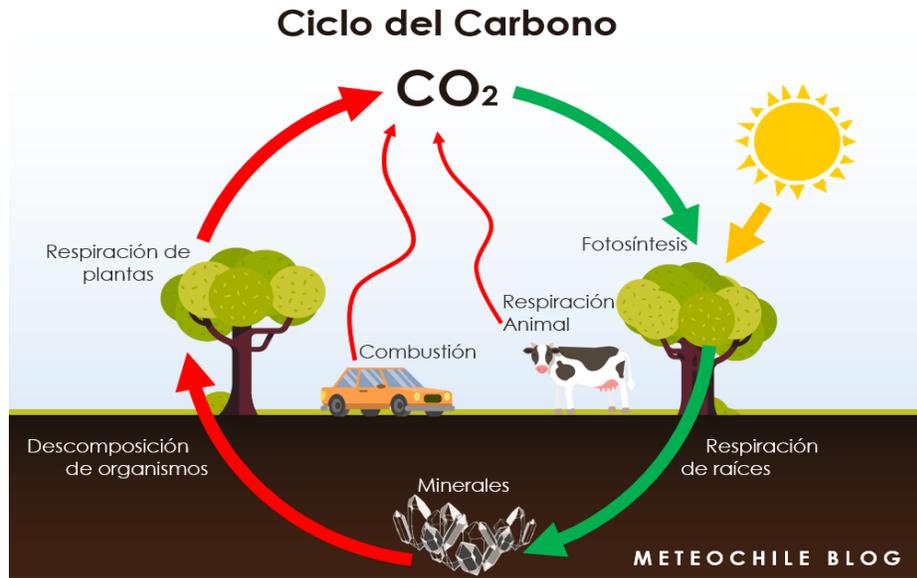


Figura 2. Diagrama del Ciclo del Carbono. Fuente: Vicencio (2019).

### 1.2.11. Metodologías para la estimación de biomasa y carbono

Existen dos métodos para evaluar la biomasa y el carbono almacenado en proyectos forestales (Fonseca-Gonzales, 2017).

**Método indirecto o no destructivo:** se calcula la biomasa del árbol con ecuaciones o modelos matemáticos mediante regresiones entre las variables implicadas, por ejemplo: diámetro de la especie arbórea, altura total y comercial, densidad de la madera (se puede obtener de la base de datos “*The Wood Database*”).

**Método directo o destructivo:** Consiste en cortar las especies arbóreas y pesar la biomasa, obteniendo posteriormente el peso seco.

### 1.2.12. Ecuaciones alométricas

La ecuación alométrica de la biomasa nos permite calcular la biomasa de un individuo o grupo de individuos (comunidades) mediante la medición de parámetros como el DAP y Altura total de la vegetación. Las fórmulas se obtienen de regresiones del volumen, área basal y biomasa de los individuos arbóreos (Rügnitz *et al.*, 2009).

### 1.2.13. Aguajal

Es un humedal amazónico formado por vegetaciones adaptadas a este tipo de suelos hidromórficos debido a las inundaciones y desbordes de los ríos durante la temporada de mayor precipitación, conformados principalmente por palmeras de “aguaje” (*Mauritia flexuosa*), que abarca más de 6 millones de hectáreas, debido a ello se le denomina ecosistemas aguajal (García *et al.*, 2012). Los suelos de los aguajales son de drenaje deficiente y materia orgánica en descomposición incompleta formando capas de turba, funcionando como importantes sumideros de carbono (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015c). Formado por especies forestales y palmeras, las más importantes son *Mauritia flexuosa*, *Mauritia vinifera*, *Mauritiella peruviana*, *Oenocarpus mapora*, *Euterpe precatoria*, *Virola elongata*, *Symphonia globulifera*, *Coussapoa trinervia*, *Ficus* sp., entre otras. En la Amazonía, las poblaciones dependen de este tipo de ecosistema principalmente para su alimentación basada en la caza, pesca y aprovechamiento particularmente de la palmera *Mauritia flexuosa* para consumo del fruto o comercialización, además de elaborar artesanía. Este aprovechamiento insostenible de los recursos allí disponibles está ocasionando la degradación de este ecosistema y como consecuencia la reducción de captura de CO<sub>2</sub> e incremento de la pobreza rural (Ruiz y Levistre, 2011).

### 1.2.14. “Aguaje”

El “aguaje” (*Mauritia flexuosa*) es una palmera nativa amazónica dioica (necesita árboles masculinos y femeninos para su polinización). Distribuida en Perú, Bolivia, Brasil, Colombia, Ecuador, Venezuela y Guyana. Estas palmeras son de gran altura y DAP, se desarrollan en suelos permanentemente inundados. La edad reproductiva se inicia a los 8 o 10 años, su

fructificación es mediante racimos, el fruto es de forma elíptica con escamas color rojo oscuro, de sabor agridulce, es rico en vitaminas y fuente alimenticia de la población y fauna amazónica (“guacamayo”, “majaz”, “sajino”, entre otros y una variedad de aves y peces), cumpliendo así un rol importante en la cadena alimentaria (Freitas *et al.*, 2019; Sotero *et al.*, 2013). El “aguaje” es aprovechado en toda su expresión: las hojas y semillas para artesanías, el fruto para consumo de la población y fauna silvestre, o para comercialización (transformación del fruto en refrescos, helados, coctel, mermeladas, entre otros). En las regiones amazónicas del Perú, el fruto del aguaje se comercializa en las calles y plazas (Centro de conservación, investigación y manejo de áreas naturales [CIMA], 2012).

### **1.2.15. Humedales**

Los humedales “son extensiones o superficies cubiertas o saturadas de agua, bajo un régimen hídrico natural o artificial permanente o temporal, dulce, salobre o salado, y que albergan comunidades biológicas características que proveen servicios ecosistémicos” (MINAM, 2015a, p. 53).

En ese sentido, consideran humedales los siguientes:

- Humedales costeros: manglares, lagunas, estuarios, albuferas, deltas, oasis y pantanos.
- Humedales andinos: lagos, lagunas, bofedales, manantiales, puquios, turberas, humedales de páramos y kársticos andinos.
- Humedales amazónicos: lagos y lagunas, complejos de orillales, kársticos amazónicos, pantanos amazónicos (aguajales, renacales, pungales, pantanos mixtos de palmeras, pantanos herbáceos y pantanos arbustivos), bosques de tahuampa, sabanas inundables de palmeras y varillales húmedos.

El Perú cuenta con una gran variedad de humedales; sin embargo, no cuenta con un inventario a nivel nacional (MINAM, 2015a).

### **1.2.16. Servicios ecosistémicos**

Los servicios ecosistémicos son los beneficios intangibles que nos brinda la naturaleza. (Rojas, 2013). Los servicios ecosistémicos son “las consecuencias deseadas y felices del buen funcionamiento de los ecosistemas, los cuales tendrán un mejor desempeño y una mayor provisión de bienes y servicios ambientales en relación directa a su condición de prístinos o bien manejados” (Llerena y Yalle, 2014, p. 75). En efecto, cualquier acción ya sea natural y/o antrópica contra los ecosistemas reducirá su capacidad de aporte socio-ambiental. Los servicios ambientales más trascendentes son almacenamiento de carbono atmosférico, almacenamiento y regulación hídrica; así como la conservación de los paisajes y escenarios naturales, entre otros (Llerena y Yalle, 2014).

### **1.2.17. Servicios ecosistémicos de los humedales amazónicos**

Los humedales amazónicos son ecosistemas frágiles que albergan gran diversidad de especies y proporcionan diversos servicios ecosistémicos como: agua dulce; fibras, madera y combustible; biodiversidad; protección de ríos y quebradas a través de la vegetación; sumidero de carbono; ecoturismo y educación (Ten *et al.*, 2013). En el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado podemos encontrar los siguientes servicios ecosistémicos: a) servicios de soporte: biodiversidad (flora: “aguaje”, “renaco”, “cedro”, abundantes orquídeas, bromeleas y fauna: “tapires”, “ronsocos”, “jaguares”, “lobos de río” y “achunis”); b) servicio de aprovisionamiento: madera como combustible, para artesanía y construcción de las viviendas proveniente de las especies forestales presentes en la zona de estudio (*Symphonia globulifera*, *Virola elongata*, *Oxandra sphaerocarpa*, entre otras), lianas, plantas medicinales, ornamentales; agua dulce proveniente del río Avisado y río Mayo; alimentos (peces, animales silvestres y frutos como el aguaje, éstos son alimentos para el autoconsumo y comercialización de la población aledaña a la zona de estudio; c) servicio de regulación: regulación del clima, captura de carbono, almacenamiento y regulación de la fuente hídrica, regulación de erosión por parte de las especies arbóreas y palmeras de la zona de estudio; d) servicios culturales: recreación y ecoturismo que viene desarrollando la asociación de pobladores de Tingana, belleza escénica de la zona de estudio.

### 1.2.18. Pagos por Servicios Ambientales (PSA)

Es el pago monetario o no, de forma voluntaria que se realiza para seguir obteniendo beneficio de un determinado servicio ambiental el cual permite mejorar la calidad de vida (Herbert *et al.*, 2010).

### 1.2.19. Tamaño de la unidad muestral para el inventario de flora y vegetación

El tamaño mínimo de la unidad muestral se establece según el “área mínima que requiere una determinada comunidad vegetal, para poder considerar como una muestra” (Tabla 1). A continuación, se mostrará el tamaño mínimo de la unidad muestral (ha) según el mapa nacional de cobertura vegetal (Ministerio del Ambiente [MINAM], 2015b, p.50).

Tabla 1

*Tamaño mínimo de la unidad muestral para determinadas formaciones vegetales*

Unidades del Mapa Nacional de Cobertura Vegetal	Tamaño mínimo de la unidad muestral (ha)
Bosques de la región Amazonía tropical (selva baja)	0,50
Bosques con palmeras (selva baja y selva alta)	0,40
Palmerales (selva baja y selva alta)	0,25
Bosques de la yunga (selva alta): piedemonte, basimontano y montano	0,50
Bosques de la yunga (selva alta): altimontano	0,25
Bosques de la región andina: montano occidental andino, bosque de coníferas y xérico interandino	0,25
Bosque de la región andina: relictos mesoandino y altoandino	0,04
Bosques de la región costa	0,50
Pacal	0,025

*Fuente:* Guía de inventario de la flora y vegetación (MINAM, 2015b).

## **CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1. Diseño de la investigación**

El diseño de investigación es no experimental, es un tipo de investigación aplicada porque ayuda a la resolución de problemas de carácter práctico, empírico o tecnológico. El enfoque fue cuantitativo debido a que la recolección de datos fue de tipo numérico, cuantificable (Muñoz, 2011). El propósito de este estudio fue estimar la cantidad de carbono “C” capturado en la biomasa aérea de los árboles y palmeras del aguajal en la zona de estudio, a través de registro de datos en campo; después se realizó el cálculo del carbono almacenado y se valorizó el servicio ambiental de captura de carbono en el área de estudio.

### **2.2. Lugar y Fecha**

La región San Martín está situada en el sector septentrional - central del territorio peruano, en la selva alta, colindando hacia el oeste con el flanco oriental del relieve andino. Se encuentra dividido políticamente en 10 provincias, siendo la provincia de Moyobamba la capital (Gobierno regional de San Martín [GORESAM], 2014). El Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo [ACM AHARAM] se encuentra ubicada en la región San Martín con un área total de 5 015,8 hectáreas, abarcando las provincias de Moyobamba con 3 479,8 ha y Rioja con 1 536 ha. El presente estudio se desarrolló en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado, localizada en la provincia de Moyobamba región San Martín, cuenta con 3 479,8 hectáreas; donde se identificaron dos tipos de zonas (aguajal denso y aguajal semidenso) de acuerdo con la densidad y abundancia de las palmeras y especies arbóreas con  $DAP \geq 10$  cm.

El Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado (ver Apéndice 12) se encuentra inundado permanentemente por las aguas del río Avisado y Mayo, además de las altas precipitaciones. Posee una fisiografía montañosa de clima tropical húmedo, con una altitud de 820 m.s.n.m. y presencia de gran variabilidad en las precipitaciones y temperaturas, con promedio anual de 1 265 mm y 22,8 °C respectivamente (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI], 2009). Es una zona húmeda donde predomina palmeras de “aguaje” (*Mauritia flexuosa*) y los troncos de los árboles suelen estar recubiertos de plantas epífitas como las bromeliáceas, orquidáceas y trepadoras como lianas y bejucos. Entre las especies de mamíferos más notables se encuentran “pecaríes”, “tapires”, “ronsocos”, “jaguares”, “lobos de río”, “primates”, “pelejos”, “erizos” y “achunis”.

La presente investigación se realizó entre los meses de agosto del 2019 y julio del año 2020. A continuación, se muestra en la Figura 3 el mapa de ubicación de la zona de estudio:

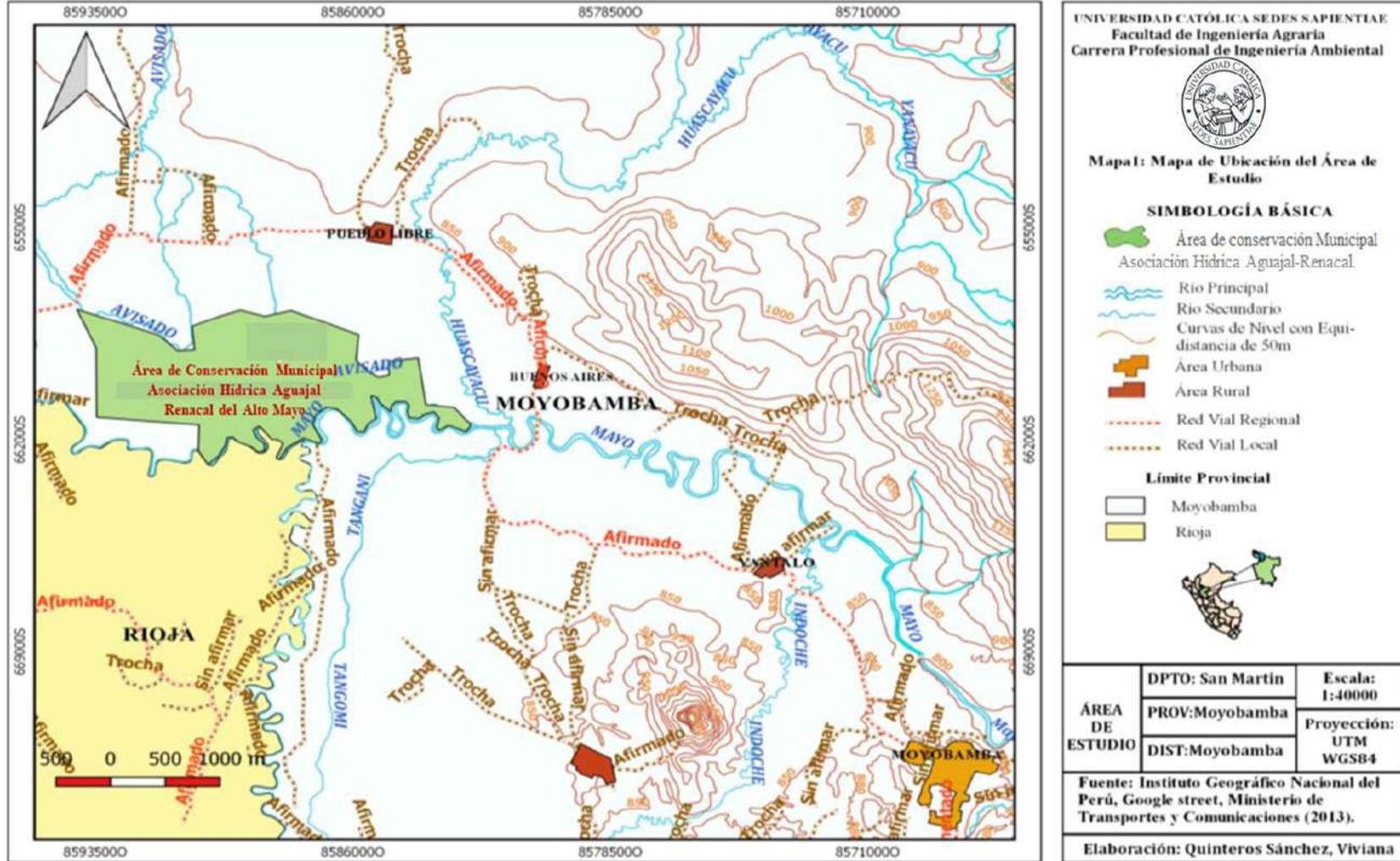


Figura 3. Mapa de ubicación del área de estudio. Fuente: Elaboración propia.

### **2.3. Población y muestra**

**Población.** La población estudiada fueron las palmeras y especies arbóreas del Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado, provincia de Moyobamba, con un área de 3 479,8 hectáreas.

**Muestra.** En la Guía de inventario de la flora y vegetación la unidad de muestreo para ecosistemas aguajales es de 0,40 hectáreas (MINAM, 2015b). Asimismo, en un estudio realizado por Quinteros-Gómez *et al.* (2021) sobre composición, estructura y patrón de distribución en tres pantanos de palmeras amazónicas, identificaron dos tipos de aguajales: aguajal semidenso y aguajal mixto (una hectárea para cada zona) para el Valle del Alto Mayo. Teniendo en cuenta estos antecedentes, el tamaño de la muestra fue de dos hectáreas, una hectárea para aguajal denso y una hectárea para aguajal semidenso; en cada sitio se establecieron 10 parcelas cada una de 50 x 20 m (1 000 m<sup>2</sup>) para las palmeras y especies arbóreas con DAP  $\geq$  10 cm. Estos dos tipos de zonas se identificaron de acuerdo a la densidad y abundancia de las palmeras y especies arbóreas inventariadas en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado.

### **2.4. Técnicas e instrumentos**

La recopilación de información en campo se realizó mediante la evaluación de campo, donde se registraron variables como diámetro y altura total de las palmeras y especies arbóreas del Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal del Alto Mayo, el cual fue documentado en las fichas de campo. Los instrumentos para el desarrollo del estudio fueron fichas de inventario de las especies arbóreas y palmeras en el ecosistema.

### **2.5. Descripción de la investigación**

La investigación se desarrolló en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado localizado en la provincia de Moyobamba,

región San Martín. El objetivo fue estimar el carbono capturado en la biomasa aérea de los árboles y palmeras en la zona de estudio mediante el método no destructivo y ecuaciones alométricas. Para estimar la biomasa aérea en especies forestales se aplicó la ecuación de Jumbo *et al.* (2015) y en palmeras la de Goodman *et al.* (2013) (Tabla 2). La densidad se obtuvo de la base de datos de densidad de madera (Zanne *et al.*, 2009) citada en las diversas bibliografías de estudio sobre carbono. Posteriormente, para obtener el carbono almacenado se usó la fracción de 0,5 y para determinar el CO<sub>2</sub> se empleó el factor de 3,67 (Torres-Torres *et al.*, 2017; Araujo-Murakami *et al.*, 2016; Malca *et al.*, 2013; Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC], 2003, 2002). A continuación, se describen las etapas de desarrollo de la investigación:

### **La investigación se desarrolló en 5 etapas:**

#### **Etapas 1: Establecimiento de las parcelas de muestreo**

Conforme con la Guía de inventario de la flora y vegetación el tamaño mínimo de la unidad muestral para ecosistemas aguajales es de 0,40 hectáreas (MINAM, 2015b) (Tabla 1), teniendo en cuenta esto se establecieron 10 parcelas cada una de 50 x 20 m (1 000 m<sup>2</sup>), es decir, una hectárea en cada sitio (aguajal denso y aguajal semidenso) separadas al menos 100 m entre ellas y se registraron las coordenadas (ver Apéndice 18) con la ayuda de un GPS (ver Apéndice 14) (Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR], 2016b).

#### **Etapas 2: Inventario de los individuos presentes en el ecosistema aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal-Renacal del Alto Mayo**

Después de haber establecido las parcelas (ver Apéndice 15) se llevó a cabo el inventario de todos los individuos con DAP  $\geq$  10 cm. Por cada individuo se registraron variables como: altura, con la ayuda de un clinómetro Suunto (ver Apéndice 16) y el diámetro a la altura del pecho (1,30 m) (ver Apéndice 17). Además, se recolectaron muestras de las hojas, flores o frutos de los árboles y palmeras con el fin de identificar las especies de dicho ecosistema. Una vez obtenidos los datos en campo, se procesó la información y se calculó la biomasa.

### Etapa 3: Determinación de biomasa aérea

Para este proceso se empleó el método indirecto o no destructivo, aplicando fórmulas alométricas para estimar la biomasa de las especies encontradas en el ecosistema aguajal, sin necesidad de extraer las especies existentes del ecosistema.

#### a) Determinación de biomasa aérea para palmeras

Se usó la siguiente fórmula (Goodman *et al.*, 2013) reemplazando la ecuación con los valores establecidos de acuerdo a los géneros de las palmeras (Tabla 2):

$$y = a + bx_1 + cx_2$$

y = Biomasa aérea (kg)  
a = Factor establecido según modelo  
bx<sub>1</sub> = Factor establecido según modelo  
cx<sub>2</sub> = Factor establecido según modelo

Tabla 2

*Modelos recomendados para cada género de palmeras para estimar la biomasa aérea*

Género	y	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	a	b	c
<i>Euterpe</i>	Biomasa aérea	h	-	-108,81	13,589	-
<i>Iriartea</i>	ln (Biomasa aérea)	ln (D <sup>2</sup> h)	-	-3,483	0,94371	-

*Modelos recomendados para cada género de palmeras para estimar la biomasa aérea (continuación)*

<i>Mauritia</i>	ln (Biomasa aérea)	ln (h)	-	2,4647	1,377	-
<i>Mauritiella</i>	Biomasa aérea	h	-	-	2,8662	-
<i>Oenocarpus</i>	ln (Biomasa aérea)	H	-	4,5496	0,1387	-
<i>Socratea</i>	ln (Biomasa aérea)	ln (D <sup>2</sup> h)	-	-3,7965	1,0029	-

Fuente: Goodman *et al.* (2013).

**b) Determinación de biomasa aérea para especies arbóreas**

❖ **Determinación del área basal**

Se usó la siguiente fórmula (Grijpma, 2008).

$$AB = \frac{\pi}{4} * D^2$$

AB= Área basal del tronco en m<sup>2</sup>

D= Diámetro en m

$\pi$ = 3,1416

❖ **Determinación del volumen de la madera**

Se usó la siguiente fórmula (Harold y Hocker, 1979).

$$V = (h * ab)f$$

V = Volumen en m<sup>3</sup>

h = Altura en m

ab = Área basal del tronco en m<sup>2</sup>

F= Factor mórfico (0,5)

❖ **Determinación de densidad de madera**

La densidad de madera de cada especie se obtuvo de Wood Database World, disponible en: ([www.iiap.org.pe/Upload/Taller\\_Carbono/GlobalWoodDensityDatabase.xls](http://www.iiap.org.pe/Upload/Taller_Carbono/GlobalWoodDensityDatabase.xls) global wood density database.xls) (Zanne *et al.*, 2009).

❖ **Determinación de la biomasa aérea**

Se usó la siguiente fórmula (Jumbo *et al.*, 2015):

$$Ba = V * DM * FC$$

Donde:

V= Volumen de la madera (m<sup>3</sup>)

Ba: Biomasa aérea (Mg/ha<sup>-1</sup>)

DM: Densidad de la madera (Mg/m<sup>3</sup>)

FC: Factor de Corrección (1,18)

#### **Etapa 4: Estimación del carbono almacenado**

Para obtener el carbono almacenado se usó la siguiente fórmula (Araujo-Murakami *et al.*, 2016; Malca *et al.*, 2013; IPCC, 2002):

$$\mathbf{C = BT * FC}$$

Donde:

C= Carbono (Mg/ha<sup>-1</sup>)

BT= Biomasa total (Mg/ha<sup>-1</sup>)

FC= Factor de conversión (0,5)

#### **Etapa 5: Estimación del CO<sub>2</sub>**

Para obtener el dióxido de carbono (almacenado o emitido) por el ecosistema se empleó el factor de  $44/12 = 3,67$ , el cual deriva de dividir el peso atómico de una molécula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) por el peso específico del carbono, es decir se multiplica la cantidad de carbono almacenado (Mg) por 3,67. Se usó la siguiente fórmula (Araujo-Murakami *et al.*, 2016; Malca *et al.*, 2013; Pacheco *et al.*, 2007; IPCC, 2003):

$$\mathbf{CO_2e = \Delta C \text{ total} \left( Mg \frac{C}{ha} \right) \times 3,67}$$

Dónde:

CO<sub>2</sub>e: Dióxido de carbono equivalente.

ΔC: Cantidad de carbono total en la biomasa.

3,67: Factor de conversión.

## **Etapa 6: Determinación del pago por el servicio ambiental de almacenamiento de CO<sub>2</sub>**

Para valorizar el servicio ambiental de almacenamiento de CO<sub>2</sub> se multiplicó los Megagramos de CO<sub>2</sub> encontrados por 13,72 dólares americanos (Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> [SENDECO<sub>2</sub>], 2019). El precio de 13,72 dólares americanos se obtuvo del promedio de precios de los años 2009 al 2019. Se usó la siguiente fórmula:

$$\mathbf{VE = Mg\ CO_2 * PM}$$

Dónde:

VE= Valoración Económica (\$/ha)

MgCO<sub>2</sub>e= Mg de CO<sub>2</sub> fijadas por hectárea.

PM: Precio utilizado para cada Megagramo de CO<sub>2</sub> (\$13,72)

### **2.6. Identificación de las variables y su mensuración**

Se estableció parcelas de una hectárea para el sitio de aguajal denso y una hectárea para aguajal semidenso; y en cada sitio se establecieron 10 parcelas de 50 x 20 m (1000 m<sup>2</sup>) para las palmeras y especies arbóreas con DAP ≥ 10 cm. Para estimar la biomasa aérea y el carbono capturado se empleó el método no destructivo y se utilizó ecuaciones alométricas (Araujo-Murakami *et al.*, 2016; Jumbo *et al.*, 2015; Malca *et al.*, 2013; IPCC, 2002).

A continuación, en la Tabla 3 se muestran las variables de estudio:

Tabla 3

Variable en estudio

Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Metodología	
INDEPENDIENTE  Biomasa aérea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal	Se refiere a la vegetación viva que se encuentra sobre el nivel del suelo, compuesta por: troncos, ramas, tallos, frutos, hojas y flores. No está incluida la materia orgánica en proceso de descomposición (Rügnitz <i>et al.</i> , 2009).	Se realizó el inventario de todos los individuos con DAP $\geq$ 10 cm en el aguajal. Por cada individuo se registraron variables como: altura y diámetro, con esas variables se realizó el cálculo respectivo para obtener la biomasa aérea de las palmeras y especies arbóreas.	Características de los individuos (DAP $\geq$ 10 cm).	Altura (m) y Diámetro a la altura del pecho (cm).	Parcelas de 50 x 20 m para las palmeras y especies arbóreas con DAP $\geq$ 10 cm.	
			Determinación de valores físicos de individuos y obtención de la biomasa aérea.	Área basal(m <sup>2</sup> ).		Método no destructivo-ecuaciones alométricas.
				Volumen de la madera (m <sup>3</sup> ).		
				Densidad de la madera (Mg/m <sup>3</sup> ).		
Factor de corrección.						

Variable en estudio (continuación)

DEPENDIENTE Captura de Carbono	La captura de carbono consiste en capturar el dióxido de carbono que se encuentra en la atmosfera producto de las actividades antropogénicas, y posteriormente su almacenamiento por un largo período en unidades vegetales mediante el proceso de fotosíntesis donde las plantas y algunos microorganismos capturan el CO <sub>2</sub> atmosférico para convertirlo en carbohidratos y liberar oxígeno (Lozano, 2007).	Luego de haber obtenido la biomasa aérea de las palmeras y especies arbóreas con DAP ≥ 10 cm del aguajal, se estimó el carbono capturado y el CO <sub>2</sub> almacenado por dichas plantas.	Carbono capturado por todos los individuos con DAP ≥ 10 cm del aguajal.	Biomasa (Mg/ha <sup>-1</sup> ). Factor de conversión.	Método no destructivo-ecuaciones alométricas.
			Cantidad de CO <sub>2</sub> almacenado por todos los individuos con DAP ≥ 10 cm del aguajal.	Carbono (Mg/ha <sup>-1</sup> ). Factor de conversión.	Método no destructivo-ecuaciones alométricas.
			Pago por el servicio ambiental de captura de CO <sub>2</sub> por todos los individuos con DAP ≥ 10 cm del aguajal.	CO <sub>2</sub> (MgCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> ) capturado por tipo de aguajal. Precio de mercado (\$/ha)	Método no destructivo-ecuaciones alométricas.

Fuente: Elaboración propia.

## **2.7. Análisis estadístico de datos**

La base de datos se elaboró en Excel, mediante el cual se determinaron las especies ecológicamente más importantes (IVI) y se estimó la biomasa aérea y carbono capturado por el área de estudio. Los servicios ecosistémicos más trascendentes son almacenamiento de carbono atmosférico, almacenamiento y regulación hídrica; así como la conservación de los paisajes y escenarios naturales, entre otros (Llerena y Yalle, 2014). Asimismo, se realizó curvas de acumulación de especies utilizando los estimadores de Chao-Sorensen y Chao-Jaccard basados en datos de abundancia de especies (diversidad alfa) (Chao *et al.*, 2005) mediante el software Estimates.

## CAPÍTULO III: RESULTADOS

### 3.1. Riqueza de palmeras y especies arbóreas en la zona de estudio

Para el inventario se identificaron dos zonas basadas en la densidad y abundancia de la vegetación:

Aguajal denso: Se caracterizó por la dominancia de *Mauritia flexuosa* con una densidad de 256 individuos por hectárea, asociadas con otras especies arbóreas.

Aguajal semidenso: Se caracterizó por una densidad de 184 individuos por hectárea de *Mauritia flexuosa*, asociadas con otras especies forestales, como *Machaerium floribundum* y *Virola elongata* (164 y 105 individuos por hectárea respectivamente).

Se encontraron 1 418 individuos con  $DAP \geq 10$  cm, correspondientes a 36 géneros, 48 especies y 20 familias. La familia Moraceae fue la más diversa, con siete especies (*Ficus castelviana*, *Ficus citrifolia*, *Ficus krukovii*, *Ficus maxima*, *Ficus pertusa*, *Ficus trigona* y *Sorocea muriculata*), seguido de Fabaceae (6 especies) y Arecaceae (5 especies).

Del total de especies 20 (41,7 %) ocurren sólo en la zona de aguajal semidenso, 11 (22,9 %) sólo en aguajal denso y 17 (35,4 %) están presentes en ambas zonas. Cabe mencionar que se registraron 7 especies para el aguajal denso que tienen un solo individuo y 15 especies para aguajal semidenso (Tabla 4). Asimismo, Arecaceae y Moraceae son las familias que presentan la mayor cantidad de especies, 5 especies para aguajal denso; del mismo modo Arecaceae y Fabaceae para aguajal semidenso.

Tabla 4

*Especies registradas con un solo individuo*

<b>Especies</b>	<b>Denso</b>	<b>Semidenso</b>
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.		X
<i>Cedrela odorata</i> L.		X
<i>Colubrina spinosa</i> Donn. Sm.		X
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	X	
<i>Ficus krukovii</i> Standl.	X	
<i>Hura crepitans</i> L.	X	X
<i>Inga stenoptera</i> Benth.	X	
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.		X
<i>Matisia bracteolosa</i> Ducke		X
<i>Miconia ternatifolia</i> Triana	X	X
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.		X
<i>Myrsine pellucida</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.		X
<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F. Macbr		X
<i>Psychotria alba</i> Ruiz & Pav.		X
<i>Psychotria ernestii</i> K. Krause		X
<i>Sloanea robusta</i> Uittien	X	
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	X	
<i>Triplaris poeppigiana</i> Wedd		X
<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.		X
<i>Xylopia ligustrifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Dunal		X

Fuente: Elaboración propia.

Se observó una abundancia de 735 individuos para el aguajal denso pertenecientes a 16 familias, 23 géneros y 28 especies (Tabla 5). La familia Arecacea fue la más abundante con 343 individuos. Mientras que, en el aguajal semidenso se reportaron 683 individuos, correspondientes a 18 familias, 32 géneros y 37 especies (Tabla 5). Arecacea fue la familia más abundante con 260 individuos.

Cabe mencionar que el aguajal denso reportó menor número de especies que el aguajal semidenso debido a la gran abundancia de la palmera *Mauritia flexuosa* (256 individuos; ver Apéndice 1) que aminoró el desarrollo de otras especies arbóreas. Otro factor influyente fue el nivel de inundación del aguajal denso que variaba entre 30 a 90 cm de profundidad, evidenciando un número mayor de especies adaptadas a ese tipo de ecosistemas como palmeras (*Mauritia flexuosa*, *Mauritiella armata*, *Euterpe precatória* y *Oenocarpus mapora*) y renacales (*Coussapoa trinervia* y *Ficus* sp.). A diferencia del aguajal semidenso donde el nivel de inundación fue < 60 cm, reflejándose en una mayor presencia de especies arbóreas como (*Machaerium floribundum*, *Virola elongata*, *Symphonia globulifera*, entre otras) (ver Apéndice 2).

Tabla 5

*Resultados del inventario con DAP ≥ 10 cm en la zona de estudio*

	AD	ASD	Total
N° de individuos	735	683	1 418
N° de géneros	23	32	36
N° de especies	28	37	48
N° de familia	16	18	20

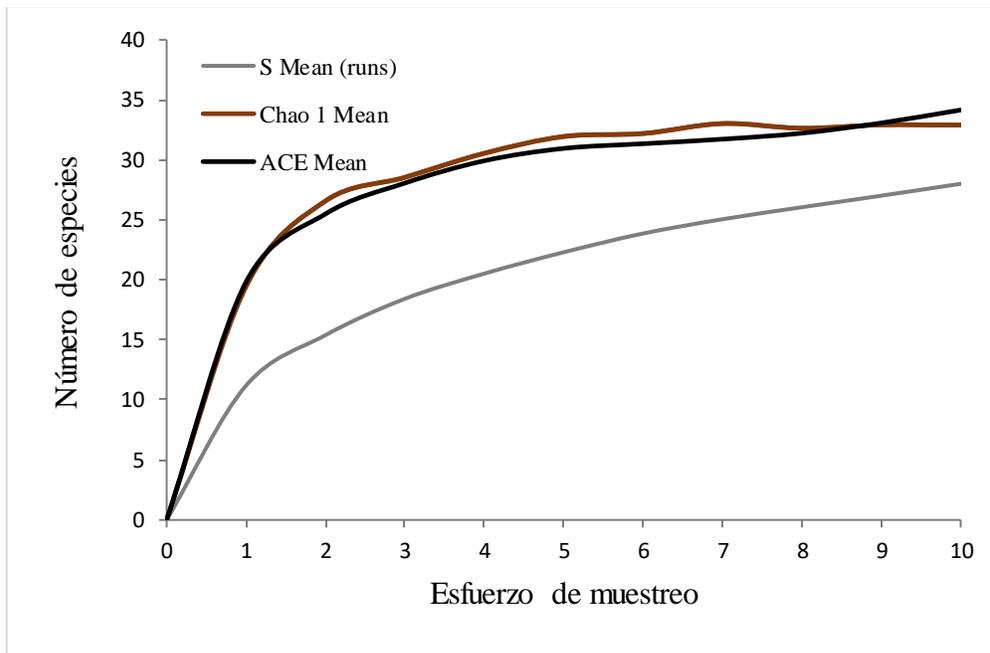
Zona: AD (Aguajal denso) y ASD (Aguajal semidenso).

Fuente: Elaboración propia.

## Curvas de acumulación de especies

Con un muestreo eficiente para cada una de las zonas, aguajal denso (Chao 1) 85 % y (ACE) 82 % y aguajal semidenso (Chao 1) 70 % y (ACE) 56 % se llegó a la conclusión que el inventario es completo, ya que se registró un poco más del 50 % de eficiencia de muestreo, debido a que se considera muestreo eficiente si hay menos del 50 % de especies no detectadas (Chao *et al.*, 2009).

En el aguajal denso el número de especies arbóreas y palmeras registradas fue de 28 y el número esperado de especies fue de 33 y 34 para Chao 1 y ACE respectivamente (Figura 4).



*Figura 4.* Curvas de acumulación de especies en la zona de aguajal denso. *Fuente:* Elaboración propia.

En el aguajal semidenso el número de especies arbóreas y palmeras registradas fue de 37, mientras que el número esperado de especies fue de 53 y 66 para Chao 1 y ACE respectivamente (Figura 5).

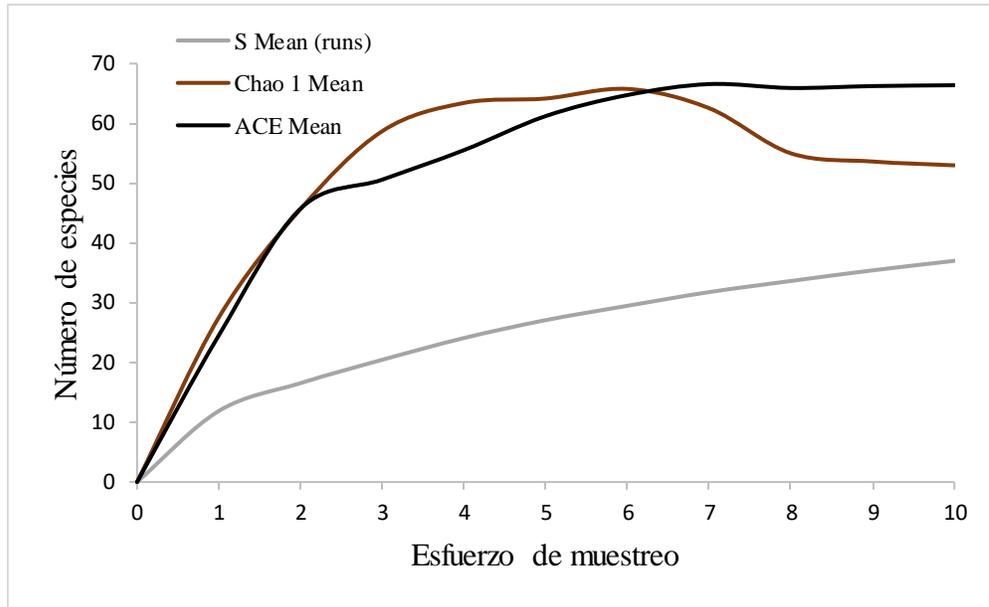


Figura 5. Curvas de acumulación de especies en la zona de aguajal semidenso. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2. Especies ecológicamente importantes en la zona de estudio

En el aguajal denso se registró 735 individuos, donde *Mauritia flexuosa* y *Symphonia globulifera* fueron las especies más abundantes con 256 y 187 individuos respectivamente. Las especies ecológicamente más importantes son *Mauritia flexuosa* con un IVI de 106,26 %; *Symphonia globulifera* con 45,79 %; *Virola elongata* 30,57 %; *Coussapoa trinervia* 23,91 %; *Mauritiella armata* 13,67 % y *Euterpe precatória* con 11,65 % (Tabla 6).

Por otro lado, el total de individuos para el aguajal semidenso fue de 683, siendo *Mauritia flexuosa* la especie que presentó mayor abundancia con 184 individuos, seguido de *Machaerium floribundum* con 164 individuos. Asimismo, *Mauritia flexuosa* es la especie de mayor importancia ecológica con un IVI de 86,51 % seguido de *Machaerium floribundum* 45,95 %,

*Virola elongata* 40,85 %, *Symphonia globulifera* 32,36 %, *Euterpe precatoria* 19,81 % y *Oenocarpus mapora* 8,76 % (Tabla 6).

Tabla 6  
Índice de Valor de Importancia

Zona	Especie	A	AR	F	FR	DO	DOR	IVI %
AD	<i>Mauritia flexuosa</i>	256	34,83	10	9,01	27,66	62,42	106,26
	<i>Symphonia globulifera</i>	187	25,44	10	9,01	5,03	11,34	45,79
	<i>Virola elongata</i>	96	13,06	10	9,01	3,77	8,50	30,57
	<i>Coussapoa trinervia</i>	38	5,17	10	9,01	4,31	9,73	23,91
	<i>Mauritiella armata</i>	58	7,89	4	3,60	0,96	2,17	13,67
	<i>Euterpe precatoria</i>	20	2,72	9	8,11	0,36	0,82	11,65
	Otras 22 especies	80	10,88	58	52,25	2,22	5,01	68,15
	Total	735	100	111	100	44,31	100	300
ASD	<i>Mauritia flexuosa</i>	184	26,94	10	8,55	19,58	51,02	86,51
	<i>Machaerium floribundum</i>	164	24,01	10	8,55	5,14	13,39	45,95
	<i>Virola elongata</i>	105	15,37	10	8,55	6,50	16,93	40,85
	<i>Symphonia globulifera</i>	90	13,18	10	8,55	4,08	10,63	32,36
	<i>Euterpe precatoria</i>	56	8,20	10	8,55	1,17	3,06	19,81
	<i>Oenocarpus mapora</i>	15	2,20	7	5,98	0,22	0,58	8,76
	Otras 31 especies	69	10,10	60	51,28	1,68	4,38	65,76
	Total	683	100	117	100	38,37	100	300

Especies ecológicamente más importantes por zona (1 ha) en el ecosistema aguajal del Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado. Zona: AD (Aguajal denso) y ASD (Aguajal semidenso). A= Abundancia, AR= Abundancia Relativa (%), F= Frecuencia, FR= Frecuencia Relativa (%), DO=Dominancia, DOR=Dominancia Relativa (%), IVI=Índice de Valor de Importancia (%).

Fuente: Elaboración propia.

### 3.3. Biomasa aérea y carbono de los árboles y palmeras en la zona de estudio

#### 3.3.1. Biomasa aérea en la zona de estudio

El aguajal denso registró 166,05 Mg/ha en la biomasa aérea. Las especies con mayor biomasa aérea fueron: *Mauritia flexuosa* (98,03 Mg/ha), *Symphonia globulifera* (20,45 Mg/ha), *Virola elongata* (19,05 Mg/ha) y *Coussapoa trinervia* (16,34 Mg/ha), en conjunto representaron el 92,66 % de la biomasa aérea acumulada. Las otras 24 especies acumularon en su conjunto 12,18 Mg/ha de biomasa aérea (7,34 %) (Figura 6).

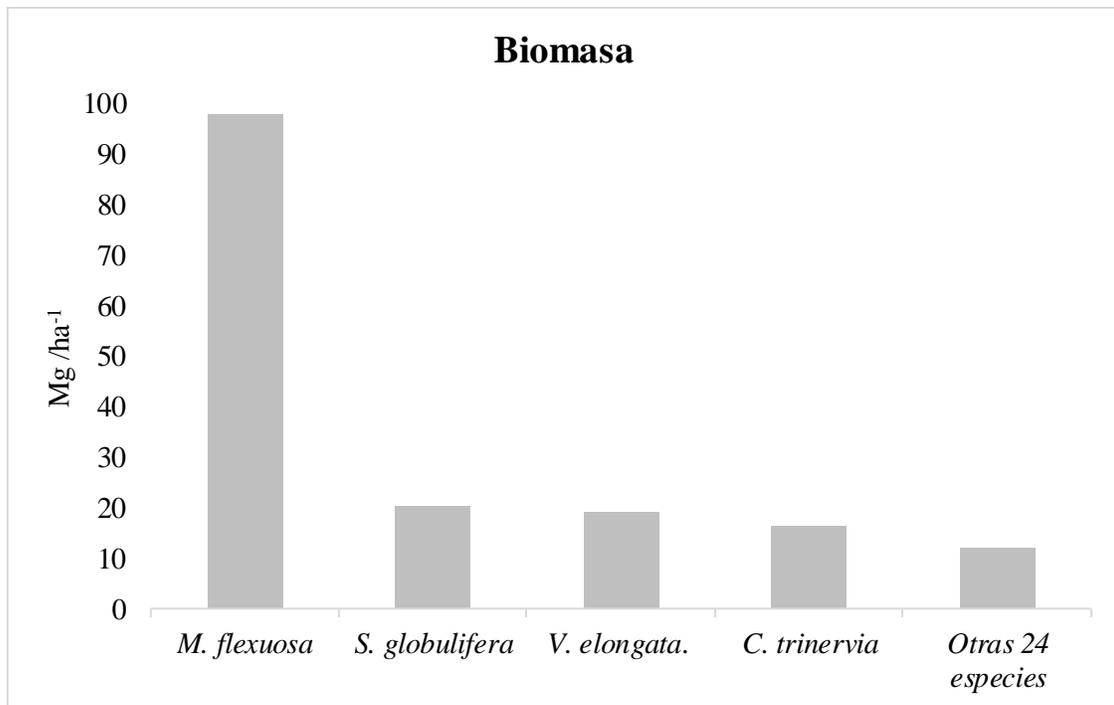


Figura 6. Especies que registraron mayor biomasa aérea en el aguajal denso. Fuente: Elaboración propia.

En el aguajal semidenso la biomasa aérea fue de 150,20 Mg/ha. Las especies con mayor biomasa aérea fueron: *Mauritia flexuosa* (79,17 Mg/ha), *Virola elongata* (27,71 Mg/ha), *Machaerium floribundum* (18,62 Mg/ha) y *Symphonia globulifera* (13,40 Mg/ha), en conjunto representaron el 92,48 % de la biomasa aérea acumulada. Las otras 33 especies registraron en su conjunto 11,30 Mg/ha de biomasa aérea (7,52 %) (Figura 7).

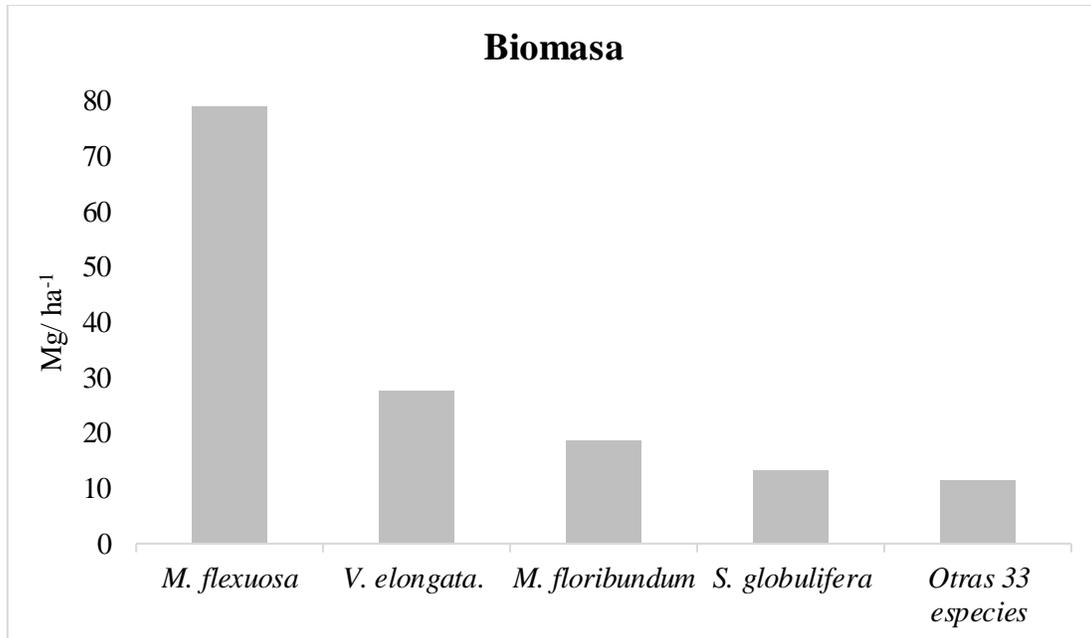


Figura 7. Especies que registraron mayor biomasa aérea en el aguajal semidenso. Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.2. Carbono capturado en la zona de estudio

En el aguajal denso se estimó la mayor cantidad de captura de carbono con un total de 83,02 MgC/ha<sup>-1</sup> (ver Apéndice 3), a diferencia del aguajal semidenso que reportó 75,10 MgC/ha<sup>-1</sup> (ver Apéndice 4).

*Mauritia flexuosa* fue la especie con mayor cantidad de carbono estimada (49,01 MgC/ha<sup>-1</sup>) representando el 59,03 % del total de carbono capturado en aguajal denso, seguido de *Symphonia globulifera* con 10,23 MgC/ha<sup>-1</sup> (12,32 %); *Virola elongata* 9,52 MgC/ha<sup>-1</sup> (11,47 %) y *Coussapoa trinervia* 8,17 MgC/ha<sup>-1</sup> (9,84 %). Las demás especies (24) en su conjunto sólo capturaron 6,09 MgC/ha<sup>-1</sup>, lo que representó el 7,34 % del total de carbono almacenado en el aguajal denso (Figura 8).

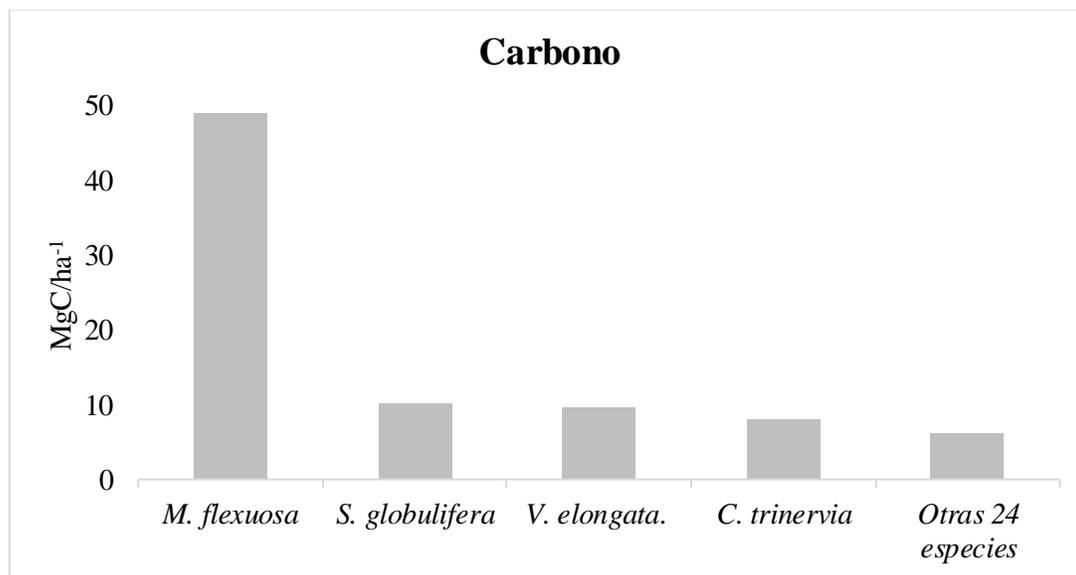
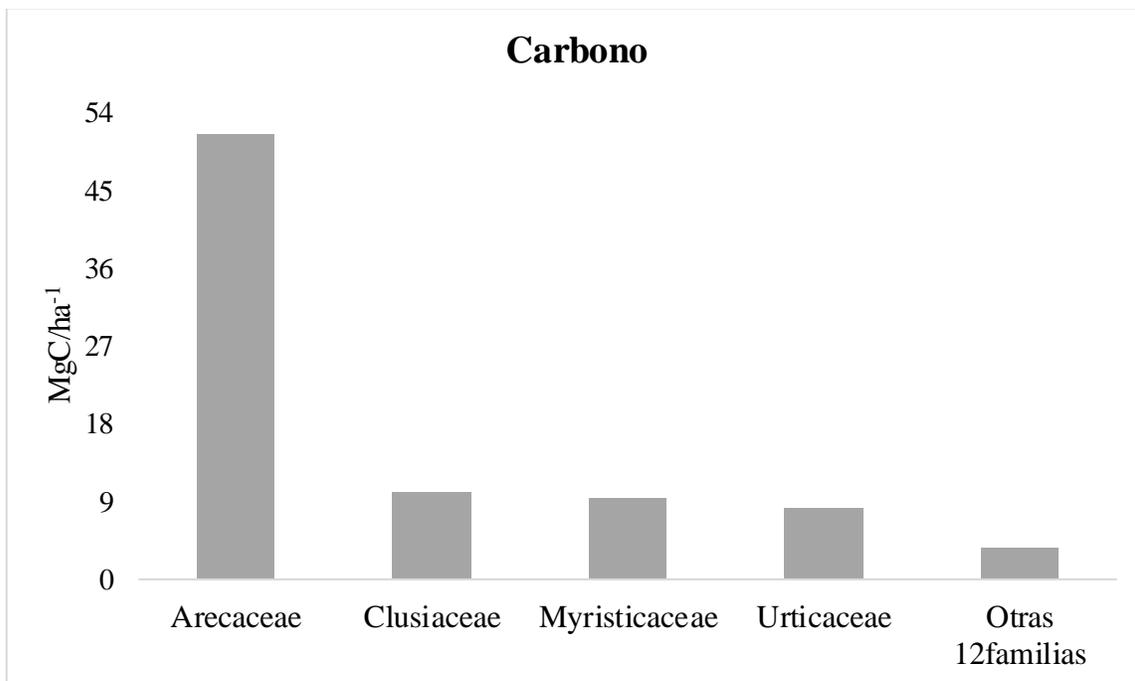


Figura 8. Captura de carbono estimada por las especies arbóreas y palmeras del aguajal denso.  
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la captura de carbono por familia, hay 4 familias que almacenaron un 95,62 % del carbono de esta zona: Arecaceae con 51,46 MgC/ha<sup>-1</sup> (61,99 %); Clusiaceae 10,23 MgC/ha<sup>-1</sup> (12,32 %); Myristicaceae 9,52 MgC/ha<sup>-1</sup> (11,47 %) y Urticaceae 8,17 MgC/ha<sup>-1</sup> (9,84 %) (Figura 9), el resto (Euphorbiaceae, Moraceae, Combretaceae, Lauraceae, Primulaceae Apocynaceae, Annonaceae, Meliaceae, Malvaceae, Fabaceae, Elaeocarpaceae y Melastomataceae) sólo almacenaron un 4,38 % (ver Apéndice 5).



*Figura 9.* Captura de carbono estimada por las familias del aguajal denso. *Fuente:* Elaboración propia.

La Figura 10 muestra las especies del aguajal semidenso con mayor captura de carbono estimada: *Mauritia flexuosa* (39,58 MgC/ha<sup>-1</sup>) representó el 52,70 % del total de carbono capturado en esta zona, seguido de *Virola elongata* 13,85 MgC/ha<sup>-1</sup> (18,44 %), *Machaerium floribundum* 9,31 MgC/ha<sup>-1</sup> (12,40 %) y *Symphonia globulifera* 6,70 MgC/ha<sup>-1</sup> (8,92 %). Las demás especies (33) en su conjunto sólo capturaron 5,66 MgC/ha<sup>-1</sup>, lo que representó el 7,54 % del total de carbono almacenado en el aguajal semidenso.

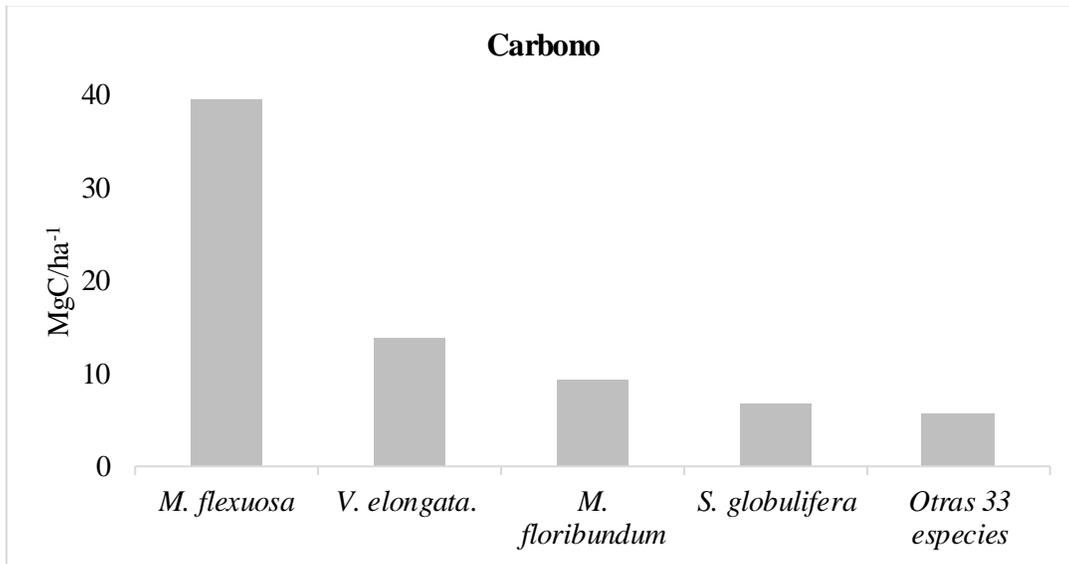


Figura 10. Captura de carbono estimada por las especies arbóreas y palmeras del aguajal semidenso. Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a la captura de carbono por familia, hay 4 familias que almacenaron un 97,41 % del carbono de esta zona: Arecaceae con 42,78 MgC/ha<sup>-1</sup> (56,96 %), Myristicaceae 14,03 MgC/ha<sup>-1</sup> (18,68 %), Fabaceae 9,59 MgC/ha<sup>-1</sup> (12,77 %) y Clusiaceae 6,76 MgC/ha<sup>-1</sup> (9 %) (Figura 11), el resto (Annonaceae, Elaeocarpaceae, Euphorbiaceae, Lauraceae, Malvaceae, Melastomataceae, Meliaceae, Moraceae, Picramniaceae, Polygonaceae, Primulaceae, Rhamnaceae, Rubiaceae y Urticaceae) sólo almacenaron un 2,59 % (ver Apéndice 6).

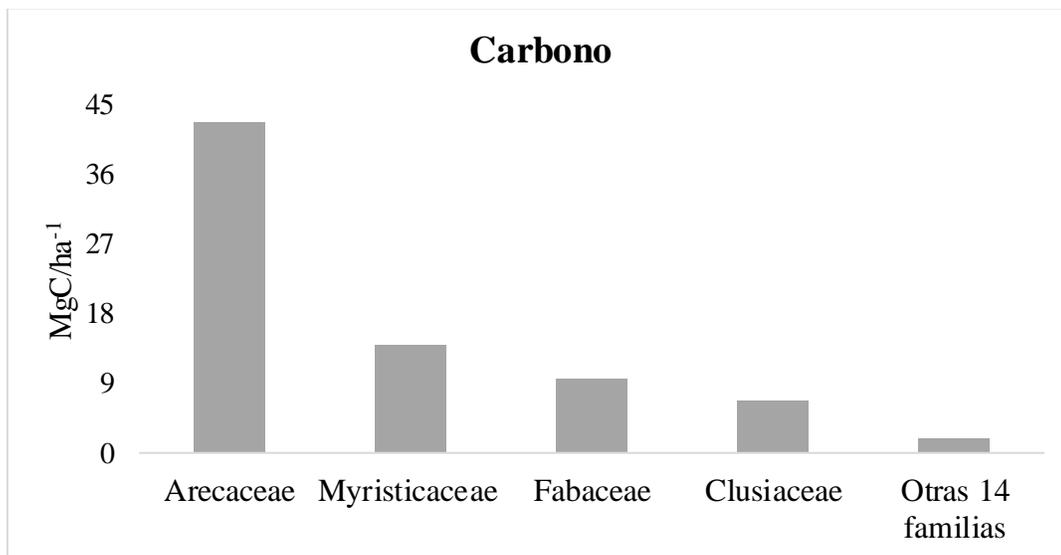


Figura 11. Captura de carbono estimada por las familias del aguajal semidenso. Fuente: Elaboración propia.

### Prueba U de Mann-Whitney

Los resultados estadísticos indicaron que no existe diferencia significativa en ambas zonas (D= Denso y SD= Semidenso) con respecto a la captura de carbono (Tabla 7). Esto se debe a que en el aguajal denso se registraron 343 palmeras y 392 individuos arbóreas, a diferencia del semidenso que se registraron 261 palmeras con un número mayor de individuos arbóreas (423), el cual indica que la zona de aguajal semidenso compensó la captura de carbono con la abundancia de especies arbóreas.

Tabla 7

*Prueba U de Mann-Whitney*

Resumen de contraste de hipótesis			
Hipótesis nula	Prueba	Sig.	Decisión
1 La distribución de Carbono es la misma entre categorías de aguajal denso y semidenso	Prueba U de Mann-Whitney para muestras independientes	0,496	Conserva la hipótesis nula
Se muestran significaciones asintóticas. El nivel de significación es de 0,05			

Fuente: Elaboración propia.

**Análisis de varianza de captura de carbono estimada en la biomasa aérea, para tres especies que registraron mayor cantidad de carbono capturado en las 20 parcelas de muestreo**

El análisis se realizó para las tres especies (*Mauritia flexuosa*, *Symphonia globulifera* y *Virola elongata*) que registraron el mayor promedio de carbono capturado por parcela.

Hipótesis: Los promedios de carbono son diferentes en las tres especies ( $\mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$ )

Paso1:  $\mu$  (la media)

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

$$H_1: \mu_i \neq \mu_j$$

$i, j = 1, 2, 3$  (*Mauritia flexuosa*, *Symphonia globulifera*, *Virola elongata*)

Al realizar el ANOVA se encontraron que existen diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) entre las medias de las tres especies (*Mauritia flexuosa*, *Symphonia globulifera* y *Virola elongata*) (Tabla 8).

Tabla 8

*Análisis de Varianza de carbono en la biomasa aérea*

	Suma de cuadrados	Grado de Libertad	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	157,060	2	78,530	34,487	0,000
Dentro de grupos	129,795	57	2,277		
Total	286,856	59			

Fuente: Elaboración propia.

Después se prosiguió a comparar si las varianzas son iguales o diferentes, para ello se realizó la prueba de homocedasticidad de varianzas (Levene). Obteniendo p-value= 0,000 por lo que se rechazó la hipótesis nula lo que sugiere que las varianzas son diferentes. Considerando que las varianzas son diferentes se aplicó la prueba no paramétrica T3 de Dunnett para las comparaciones múltiples (Tabla 9).

Como se puede observar en la Tabla 9, el p-value = 0,000 el cual indicó diferencia significativa entre las medias de carbono capturado de la especie de *Mauritia flexuosa* con *Symphonia globulifera* y *Mauritia flexuosa* con *Virola elongata*. Sin embargo, no hay diferencia significativa entre las especies *Symphonia globulifera* y *Virola elongata*. Se concluye que *Mauritia flexuosa* capturó mayor carbono (4,430 MgC) que *Symphonia globulifera* (1,169 MgC) y *Virola elongata* (0,846 MgC) por parcela, y por ende que las otras 45 especies que registraron menor carbono capturado que *Symphonia globulifera* y *Virola elongata* en las veinte parcelas (ver Apéndice 8).

Tabla 9

*Prueba no paramétrica T3 de Dunnett*

Variable dependiente	(I) Palmeras y especies arbóreas	(J) Palmeras y especies arbóreas	Diferencia de medias (I-J)	Sig.
Carbono	<i>Mauritia flexuosa</i>	<i>Symphonia globulifera</i>	3,58200*	0,000
		<i>Virola elongata</i>	3,25950*	0,000
	<i>Symphonia globulifera</i>	<i>Mauritia flexuosa</i>	-3,58200*	0,000
		<i>Virola elongata</i>	-0,32250	0,509
	<i>Virola elongata</i>	<i>Mauritia flexuosa</i>	-3,25950*	0,000
		<i>Symphonia globulifera</i>	0,32250	0,509

Fuente: Elaboración propia.

**Estimación de CO<sub>2</sub> en el aguajal denso y semidenso**

Los resultados obtenidos en el estudio indicaron que el aguajal denso almacenó mayor CO<sub>2</sub> (304,70 MgCO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>), mientras que el aguajal semidenso registró 275,61 MgCO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup>. *Mauritia flexuosa* fue la especie más representativa en ambas zonas, con 179,88 y 145,27 Mg CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup> para aguajal denso y aguajal semidenso, respectivamente (Tabla 10).

Tabla 10

*Dióxido de carbono capturado por las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso y aguajal semidenso*

Aguajal denso CO <sub>2</sub>		Aguajal semidenso CO <sub>2</sub>	
Especie	MgCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup>	Especie	MgCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup>
<i>M. flexuosa</i>	179,88	<i>M. flexuosa</i>	145,27
<i>S. globulifera</i>	37,53	<i>V. elongata</i>	50,84
<i>V. elongata.</i>	34,95	<i>M. floribundum</i>	34,16
<i>C. trinervia</i>	29,99	<i>S. globulifera</i>	24,60

*Dióxido de carbono capturado por las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso y aguajal semidenso (continuación)*

Otras 24 especies	22,35	Otras 33 especies	20,74
Total	304,70	Total	275,61

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Pago por el servicio ambiental de captura de carbono

En la Tabla 11 se observa que el pago por el servicio ambiental de captura de carbono es mucho mayor en el aguajal denso que en el aguajal semidenso, con 4180,42 y 3781,39 dólares/ha respectivamente. Asimismo, la especie mejor valorizada económicamente fue *Mauritia flexuosa* en ambas zonas con 2467,89 y 1993,16 dólares/ha para aguajal denso y aguajal semidenso, respectivamente.

Tabla 11

*Pago por Servicio Ambiental (PSA) por las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso y aguajal semidenso*

Aguajal denso		Aguajal semidenso	
Especie	PSA (\$/ha)	Especie	PSA (\$/ha)
<i>M. flexuosa</i>	2467,89	<i>M. flexuosa</i>	1993,16
<i>S. globulifera</i>	514,95	<i>V. elongata</i>	697,54
<i>V. elongata</i>	479,49	<i>M. floribundum</i>	468,67
<i>C. trinervia</i>	411,40	<i>S. globulifera</i>	337,49
Otras 24 especies	306,69	Otras 33 especies	284,53
Total	4180,42	Total	3781,39

Fuente: Elaboración propia.

## CAPÍTULO IV: DISCUSIONES

### 4.1. Riqueza de palmeras y especies arbóreas en la zona de estudio

La densidad de *Mauritia flexuosa* en el aguajal denso en el ACM AHARAM, sector río Avisado fue de 256 individuos/ha, valor ligeramente superior a los 230 individuos/ha reportados por Kahn y Mejía (1991) en bosques inundables en el bajo Ucayali. Ello se debe al grado de intervención del bosque, donde se reportaron zonas aledañas altamente deforestadas y reemplazadas por plantaciones de palma aceitera. Por otro lado, la densidad del aguajal denso en el ACM AHARAM, sector río Avisado resultó ligeramente menor a los 280 y 285 individuos/ha reportados por el IIAP (2006) y Pérez y Mijares (2013) en la Reserva Nacional Pacaya Samiria-Loreto y en Arauca-Colombia, respectivamente. En las cuencas de los ríos Marañón y Ucayali (Hergoualc'h *et al.*, 2017) reportaron 402 individuos/ha. Estas diferencias probablemente estén asociados a factores como la altitud (investigaciones realizadas en ecosistemas de baja elevación  $\leq 300$  m s. n. m. reportaron mayor densidad de *Mauritia flexuosa* que en la zona de estudio), temperatura y precipitación (Schargel, 2007). Además, a que son ecosistemas poco intervenidos.

El aguajal semidenso en el ACM AHARAM, sector río Avisado registró 184 individuos/ha de *Mauritia flexuosa*, valor similar a los 170 individuos/ha reportados por Quinteros-Gómez *et al.* (2021) en aguajales en el piedemonte amazónico en la misma provincia donde se realizó el presente estudio. La densidad de individuos de *Mauritia flexuosa* encontrado en la zona de estudio fue superior a los reportados por IIAP (2006) y Quinteros *et al.* (2016) con 72 y 139 individuos/ha en la Reserva Nacional Pacaya Samiria en Loreto y en bosques relictos en aguajales en la provincia de Rioja en la región San Martín, respectivamente. Este resultado se debe al buen estado de conservación de la zona de estudio y desarrollo de proyectos sostenibles como el ecoturismo, donde se dejaron

de lado las actividades antropogénicas (deforestación, extracción selectiva/caza y cambio de uso de suelo).

Los ecosistemas inundables están dominados por una o más especies de palmeras, lo que conduce a una baja riqueza de especies arbóreas (García *et al.*, 2012). Ello quedó evidenciado en el área de estudio donde se encontraron 28 y 37 especies para aguajal denso y semidenso, respectivamente. Las familias con mayor riqueza fueron Moraceae (7 especies), Fabaceae (6 especies) y Aracaceae (5 especies), siendo esta última con mayor densidad 343 y 260 individuos por hectárea para aguajal denso y semidenso, respectivamente, por ello son un componente importante para este tipo de ecosistemas. Resultados similares fueron reportados por otros autores quienes afirman que una elevada densidad de especies de palmeras conduce a una baja riqueza de las especies arbóreas en estos ecosistemas (Zamora-Abrego *et al.*, 2016; Honorio *et al.*, 2015; Wittmann *et al.*, 2006).

La riqueza de especies en el aguajal del ACM AHARAM, sector río Avisado fue baja en comparación con otros aguajales que se encuentran a una altitud  $\leq 400$  m s. n. m. en la Amazonía Colombiana en Caquetá y Calderón con 75 y 162 especies, respectivamente (Urrego *et al.*, 2013); en la Reserva Nacional Tambopata en Madre de Dios 157 especies/ha (Pallqui *et al.*, 2014); en bosques pantanosos y estacionalmente inundables en Centros Poblados de Jenaro Herrera y Veinte de Enero en Loreto con 130 especies (Honorio *et al.*, 2015). La baja riqueza de especies está relacionada con la localización geográfica de estos tipos de humedales, la gradiente de inundación en que se encuentra la zona de estudio, es decir a mayor inundación menor riqueza, por ello estos tipos de ecosistemas tienen menos riqueza que los humedales amazónicos de tierra firme (Honorio *et al.*, 2015; Assis y Wittmann, 2011; Wittmann *et al.*, 2006). Asimismo, influye el tipo de sustrato; sustratos ricos en minerales en tierra firme evidencian mayor riqueza que sustratos inundados (Colonnello *et al.*, 2016).

## **4.2. Especies ecológicamente importantes en la zona de estudio**

Las especies ecológicamente más importantes en el ACM AHARAM, sector río Avisado fueron: *Mauritia flexuosa*, *Symphonia globulifera*, *Virola elongata*, *Machaerium floribundum*, *Euterpe precatoria*, *Coussapoa trinervia*, *Mauritiella armata* y *Oenocarpus mapora*, los cuales concuerdan con otros autores que reportaron por lo menos tres de estas especies para este tipo de humedal, González-Boscán (2016) en la cuenca del Orinoco registró *Mauritia flexuosa*, *Symphonia globulifera* y *Virola* sp.; el IIAP (2006) en la Reserva Nacional Pacaya Samiria quienes reportaron *Mauritia flexuosa*, *Mauritiella* sp. y *Symphonia globulifera*; Pérez y Mijares (2016) en Arauca-Colombia quienes reportaron *Mauritia flexuosa* y *Euterpe precatoria*; Urrego *et al.* (2013) en aguajales de la cuenca del río Calderón en Colombia quienes reportaron *Mauritia flexuosa*, *Euterpe precatoria* y *Oenocarpus* sp. Estas especies con mayor porcentaje de IVI evidenciaron una elevada representatividad en esta comunidad vegetal, cumpliendo un papel fundamental en la conservación y el equilibrio dentro del ecosistema, además están relacionados con el área basal y abundancia de las especies registradas en la zona de estudio (Pérez y Mijarez, 2013).

## **4.3. Biomasa aérea y carbono de los árboles y palmeras en la zona de estudio**

### **4.3.1. Biomasa aérea en la zona de estudio**

El Ministerio del Ambiente [MINAM], (2014) en un estudio sobre estimación del contenido de carbono de la biomasa aérea en los bosques del Perú, registró la biomasa aérea para la Selva Alta a una altitud  $\geq 500$  m.s.n.m. de  $172,53 \text{ Mg/ha}^{-1}$  valor cercano a lo reportado en el presente estudio, donde se registró  $150,20$  y  $166,05 \text{ Mg/ha}^{-1}$  para aguajal semidenso y denso respectivamente.

Las investigaciones realizadas evidenciaron una mayor biomasa a menores elevaciones tal como fue comprobado con los estudios desarrollados a una altitud  $\leq 400$  m s. n. m. por Hergoualc'h *et al.* (2017); Araujo-Murakami *et al.* (2016); Honorio *et al.* (2015); Pallqui *et al.* (2014) y Malca *et al.* (2013) quienes reportaron mayor biomasa aérea que en el presente estudio con  $196,7$

Mg/ha<sup>-1</sup>; 224 Mg/ha<sup>-1</sup>; 231,38 Mg/ha<sup>-1</sup>; 245,50 Mg/ha<sup>-1</sup> y 296,2 Mg/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Estas diferencias en la biomasa son atribuidas a factores como la altitud (Schargel, 2007). Además, otros factores que pueden influir en ello es la abundancia, área basal de las palmeras y especies arbóreas, estructura y composición florística de las distintas zonas, la metodología empleada para la evaluación y técnicas de registro o procesamiento de datos (Araujo-Murakami *et al.*, 2016).

#### **4.3.2. Carbono capturado en la zona de estudio**

En la región San Martín son pocos los estudios realizados sobre captura de carbono en aguajales, donde se puede resaltar el trabajo de Asner *et al.* (2014) en el Alto Mayo sobre densidad de carbono en la biomasa aérea mediante el método de sensoramiento remoto, quien reportó en promedio 57,9 MgC/ha<sup>-1</sup> valor inferior a lo reportado en el presente estudio que fue 75,10 y 83,02 MgC/ha<sup>-1</sup> para aguajal semidenso y denso, respectivamente, lo que sugiere que el ACM AHARAM sector río Avisado tiene un buen estado de conservación.

Asimismo, García *et al.* (2012) y IIAP (2006) reportaron valores similares a la zona de estudio en la cuenca del río Aguaytía en Ucayali y en la Reserva Nacional Pacaya Samiria en Loreto con 96,33 MgC/ha<sup>-1</sup> y 76,56 MgC/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Esto se explica a que la investigación realizada por García *et al.* (2012) y IIAP, (2006) fueron desarrollados en zonas con alguna intervención antropogénica y expuestos a actividades de extracción; como también al uso de distintos métodos para la estimación de carbono.

Por otro lado, investigaciones realizadas evidenciaron que el carbono capturado es mayor a menor elevación, tal como fue comprobado con estudios realizados a una altitud  $\leq 400$  m.s.n.m. por IIAP (2006) en la Reserva Nacional Pacaya Samiria en Loreto; por Hergoualc'h *et al.* (2017) en la Amazonía peruana región Loreto; Araujo-Murakami *et al.* (2016) en la Amazonía del Acre-Madre de Dios; Honorio *et al.* (2015) en bosques pantanosos y estacionalmente inundables de Jenaro Herrera y Veinte de Enero en Loreto y a los reportados por Martel y Cairampoma

(2012) en el Centro de Investigación y Capacitación Río los Amigos Madre de Dios en Perú, quienes reportaron mayor carbono capturado en la biomasa aérea que en el presente estudio con 105,63 MgC/ha<sup>-1</sup>; 108 MgC/ha<sup>-1</sup>; 124,64 MgC/ha<sup>-1</sup>; 193,9 MgC/ha<sup>-1</sup> y 260,79 MgC/ha<sup>-1</sup> respectivamente. Estas diferencias de carbono capturado son atribuidas a la riqueza y abundancia de especies, al área basal de las palmeras y especies arbóreas, que a su vez están determinadas por las condiciones de gradiente geomorfológico, drenaje y nivel de inundación del aguajal, los cuales definen las características de estas comunidades vegetales (composición y estructura de estos aguajales) (Honorio *et al.*, 2015; García *et al.*, 2012; Assis y Wittmann, 2011; Wittmann *et al.*, 2006).

La inundación incide en la supervivencia de especies que han desarrollado adaptaciones importantes en este tipo de ecosistemas. Es decir, cuanto mayor es la inundación, mayor es la supervivencia de especies que han desarrollado adaptaciones, como los renacos que presentan raíces aéreas (*Ficus* sp. y *Coussapoa trinervia*); especies forestales que tienen troncos de bases aladas (*Virola* sp.); palmeras que presentan zancos como *Socratea exorrhiza* y *Mauritia flexuosa* que poseen neumatóforos, que son raíces aéreas secundarias que crecen en sentido opuesto al suelo para proporcionar oxígeno a las raíces principales en suelos anegados (Quinteros-Gómez *et al.*, 2021; Assis y Wittmann, 2011; Trujillo-González *et al.*, 2011; Melack y Hess, 2010). Estas especies generalmente presentan gran diámetro y altura, de modo que poseen mayor biomasa y, por lo tanto, mayor carbono capturado.

No se encontraron diferencias en la captura de carbono entre el aguajal denso y el semidenso, debido a que el aguajal denso presentó dominancia de *Mauritia flexuosa*, lo que redujo la diversidad y el desarrollo de otras especies arbóreas (Honorio *et al.*, 2015); por el contrario, el aguajal semidenso registró una mayor diversidad y abundancia de especies arbóreas que compensó el carbono capturado. Sin embargo, se registró diferencia significativa entre la media de carbono capturado por *Mauritia flexuosa* con *Symphonia globulifera* y *Virola elongata*. Siendo *Mauritia flexuosa* la especie que capturó mayor carbono que las dos especies antes mencionadas, lo que fue evidenciado con la prueba de análisis de varianza.

Esto probablemente se debió a que esta especie presenta gran diámetro y altura, a diferencia de las otras especies registradas en la zona de estudio (Martel y Cairampoma, 2012 y Quinteros-Gómez *et al.*, 2021).

Se evidenció que el carbono capturado en la zona de estudio que se encuentra a altitud de 820 m s. n. m. fue menor en comparación a otras investigaciones desarrolladas en aguajales a una altitud  $\leq 400$  m s. n. m. Sin embargo, los valores de carbono capturado en la zona de estudio (humedal amazónico) fueron superiores a los reportados por otros humedales (costero y andino) de nuestro país (ver Apéndice 10). Los humedales son considerados los mayores sumideros de carbono entre los ecosistemas terrestres amazónicos debido a la gran cantidad de turba acumulada ( $> 20$  m) en estudios geológicos realizados en el Alto Mayo (Alva *et al.*, 1992) por lo que su rol para mitigar el cambio climático es de suma importancia, además su conservación garantiza la disponibilidad de agua y una serie de servicios ecosistémicos (Honorio *et al.*, 2015; Pérez y Mijares, 2013).

#### **4.4. Pago por el servicio ambiental de captura de carbono**

La zona de aguajal denso obtuvo un mayor pago por el servicio ambiental de almacenamiento de CO<sub>2</sub> con \$ 4 180,42 por hectárea; mientras que el pago para la zona de aguajal semidenso fue de \$ 3 781,39 por hectárea (ver Apéndice 7). Esta diferencia se da por la dominancia de palmeras principalmente *Mauritia flexuosa* (Honorio *et al.*, 2015) que registró mayor densidad para aguajal denso. Se usó un precio de \$ 13,72 por megagramo de dióxido de carbono almacenado, valor similar a lo reportado por Martel y Cairampoma (2012) de \$ 15 para formaciones vegetales amazónicas (bosque de terraza, bosque inundable y aguajal) en “CICRA”, Madre de Dios (Perú). Esta diferencia del monto económico se debe al precio de mercado de carbono empleado. Asimismo, cabe recalcar que esta valorización del servicio ambiental no incluye el carbono almacenado en el suelo, el cual permitiría obtener un monto mayor para este ecosistema (IIAP, 2006).

El manejo sostenible de estos aguajales amazónicos no solo favorece a la captura y almacenamiento de carbono, sino que conlleva a la protección de las especies de flora y fauna presentes en este humedal, además la población podría obtener ingresos y empleo por actividades como retribución por carbono y ecoturismo (Quinteros-Gómez *et al.*, 2021; IIAP, 2006).

La oferta de carbono permitirá valorar económicamente los aguajales estudiados de manera que puedan desarrollarse y aplicarse estrategias de conservación de estos ecosistemas frágiles; además de valorar su aporte frente al cambio climático (IIAP, 2006).

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES

1. El carbono capturado en la biomasa aérea de los árboles y palmeras ( $DAP \geq 10$  cm) del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado, en promedio fue de  $79,06 \text{ MgC/ha}^{-1}$ , registrando  $83,02 \text{ MgC/ha}^{-1}$  para la zona de aguajal denso y  $75,10 \text{ MgC/ha}^{-1}$  para aguajal semidenso.
2. En el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado, la zona de aguajal semidenso presentó mayor riqueza 37 especies/ha ( $DAP \geq 10$  cm) que la zona de aguajal denso (28 especies/ha), sin embargo, éste último tiene más abundancia.
3. Las especies ecológicamente más importantes del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado son *Mauritia flexuosa*, *Symphonia globulifera*, *Virola elongata*, *Coussapoa trinervia*, *Mauritiella armata* y *Euterpe precatoria* para la zona de aguajal denso y *Mauritia flexuosa*, *Machaerium floribundum*, *Virola elongata*, *Symphonia globulifera*, *Euterpe precatoria* y *Oenocarpus mapora* para la zona de aguajal semidenso.
4. La biomasa aérea de los árboles y palmeras presentes en el aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado estuvo entre  $150,20$  y  $166,05 \text{ Mg/ha}^{-1}$ .

5. La valorización del servicio ambiental de captura de carbono del aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado para la zona de aguajal denso fue de 4 180,42 dólares/ha y aguajal semidenso de 3 781,39 dólares/ha. Asimismo, la familia mejor valorizada económicamente fue Arecaceae en ambas zonas con 2 918,03 dólares/ha y 2 425,48 dólares/ha para aguajal denso y aguajal semidenso, respectivamente.

## **CAPÍTULO VI: RECOMENDACIONES**

- Se sugiere desarrollar estudios sobre la clasificación de zonas en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, además sobre captura de carbono tanto en la biomasa aérea, necromasa y suelo.
- Se recomienda fomentar trabajos de investigación referente al inventario de las especies de flora y fauna para obtener un registro eficiente sobre todas las especies que habitan en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo.
- Se recomienda monitorear este ecosistema de manera permanente con el fin de recabar más información científica sobre almacenamiento de carbono en este ecosistema (> 800 m s. n. m).
- Se recomienda realizar charlas de sensibilización sobre la importancia de este humedal amazónico, los servicios ecosistémicos que nos brindan y como su conservación contribuye a la mitigación del cambio climático, además de obtener un ingreso por ello.

## REFERENCIAS

- Alva, J.E., Meneses, J.F., Chang, L.A., Lara, J.L. y Nishimura, T. (1992). Efectos en el terreno ocasionados por los sismos del Alto Mayo en Perú. IX Congreso Nacional de Ingeniería Civil. (pp.14-20). [http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis26\\_a.pdf](http://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis26_a.pdf).
- Assis, R.L. y Wittmann, F. (2011). Forest structure and tree species composition of the understory of two central Amazonía várzea forests of contrasting flood heights. *Flora*, 206, 251-260. <https://mamiraua.org.br/documentos/cf3e25befa70113361-a6a400072dba99.pdf>.
- Araujo-Murakami, A., Milliken, W., Klitgaard, B., Carrion-Cuellar, A., Vargas-Lucindo, S. y Parada-Arias, R. (2016). Biomasa y carbono en los bosques amazónicos de tierra firme e inundable (várzea) en el Oeste de Pando. *Kempffiana*. 12(1), 3-19. <http://www.museonoelkempff.org> › 3-19 Araujo-Murakami et al. 2016.
- Asner, G.P., Knapp, D.E., Martín, R.E., Tupayachi, R., Anderson, C.B., Mascaro, J. y Neyra, A.F. (2014). *The high-resolution carbon geography of Peru*. The Carnegie Airborne Observatory and the Ministry of Environment of Perú, Berkeley, USA. 64pp. <https://gao.asu.edu/publication/the-high-resolution-carbon-geography-of-peruenglish>.
- Buce, D. y Schumacher, F.X. (1965). *Medición Forestal*. Herrero.
- Burbano-Orjuela, H. (2018). El carbono orgánico del suelo y su papel frente al cambio climático. *Rev. Ciencias Agrícolas*. 35(1): 82-96. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcia/v35n1/0120-0135-rcia-35-01-00082.pdf>.
- Centro de conservación investigación y manejo de áreas naturales [CIMA]. (2012) Revalorización e importancia del aguaje en la zona de amortiguamiento del parque nacional Cordillera Azul. 20pp. <https://www.cima.org.pe/files/images/publicaciones/pdf/CIMA-2012-cartilla-revalorizacion-del-aguaje.pdf>.
- Chao, A., Chazdon, R.L., Colwell, R.K. y Shen, T. (2005). Un nuevo método estadístico para la evaluación de la similitud en la composición de especies con datos de incidencia y abundancia: En Gonzalo Halffter, Jorge Soberón, Patricia Koleff, y Antonio Melic. *Diversidad Biológica: El significado de las Diversidades Alfa, Beta y Gamma*. (pp. 85-95). Gorfi.

- Colonnello, G., Grande, J.R. y Marquez-Molina, I. (2016). *Roystonea oleracea* communities in Venezuela. *Botanical Journal of the Linnean Society*. 82 (2): 439-450. *Morichales, Cananguachales y otros palmares inundables de Suramérica. Parte II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Convención Ramsar (1999). Los humedales y el cambio climático. <http://www.ramsar.org>.
- Condit, R. (2008). Methods for estimating above ground biomass of forest and replacement vegetation in the tropics. *Center for Tropical Forest Science Research Manual*, 73 pag.
- Corvacho, M. (2019). *Estimación del carbono almacenado en los totorales y gramadales del Refugio de Vida Silvestre los Pantanos de Villa, Lima, Perú*. (Tesis de grado). Universidad Científica del Sur.
- Fonseca-Gonzales, W. (2017). Revisión de métodos para el monitoreo de biomasa y carbono vegetal en ecosistemas forestales tropicales. *Revista de Ciencias Ambientales, Trop J Environ Sci*. 51(2): 91-109. <http://www.fonsecagonzales2017.DeMetodosParaElMonitoreoDeBiomasyCarbonoV-6055225.pdf>.
- Freitas, L., Zárate, R., Bardales, R. y Castillo, D. (2019). Efecto de la densidad de siembra en el desarrollo vegetativo del aguaje (*Mauritia flexuosa* L.f.) en plantaciones forestales. *Revista peruana de biología*. 26(2), 227 – 234. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpbv26i2.16378>.
- Fuentes, S. y García, F. (2013). *Evaluación de la captura de carbono en las especies forestales manilkara sp. "Quinilla" y Myrcia sp. "rupiña", en el centro de producción investigación Pabloyacu, Moyobamba*. (Tesis de grado). Universidad Nacional de San Martín, San Martín, Perú.
- García, D., Honorio, E. y Del Castillo, D. (2012). Determinación del Stock de Carbono en aguajales de la cuenca del río Aguaytía, Ucayali-Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*, 1(2), 153-160. [https://www.academia.edu/13086384/determinacion\\_del\\_stock\\_de\\_carbono\\_en\\_aguajales\\_de\\_la\\_cuenca\\_del\\_rio\\_Aguaytia\\_Ucayali\\_Peru](https://www.academia.edu/13086384/determinacion_del_stock_de_carbono_en_aguajales_de_la_cuenca_del_rio_Aguaytia_Ucayali_Peru).

- García, J. y Martínez, M. (2014). Biomasa y biotecnología: Biología Medioambiental. Centro de Investigaciones Biológicas del Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid.
- González-Boscán, V. (2016). Los palmares de pantano de *Mauritia flexuosa* en Suramérica: Una revisión (pp.77-78). En: Lasso, C.A., Colonnello, G y Moraes, M. R. (Editores), *XIV. Morichales, Cananguachales y otros palmares inundables de Suramérica. Parte II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Goodman, R., Phillips, O., Castillo, D., Freitas, L., Tapia, S., Monteagudo, A. y Baker, T. (2013). Amazon palm biomass and allometry. *Forest Ecology and Management*. 994-1004. Perú.
- Gobierno Regional de San Martín [GORESAM]. (2014). Análisis económico del impacto del desarrollo alternativo, en relación a la deforestación y la actividad cocalera. San Martín. pp.105. [https://www.unodc.org/documents/peruandecuador/Informes/InformesAnaliticos/San\\_Martín.AnalisisEconomico.DADeforestacioncoca.pdf](https://www.unodc.org/documents/peruandecuador/Informes/InformesAnaliticos/San_Martín.AnalisisEconomico.DADeforestacioncoca.pdf).
- Grijpma, P. (2008). *Manuales para educación agropecuaria: Producción Forestal*. Trillas. Pp 133. México.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2002). Cambio climático y biodiversidad, pp.93
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2003). Orientación sobre las buenas prácticas para uso de la tierra, cambio de uso de la tierra y silvicultura. Programa de inventarios nacionales de gases de efecto invernadero.
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2007). Cambio climático. Informe de síntesis
- Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2014). Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra-Suiza. Pg 157.

- Harold, W. y Hocker, J. (1979). *Introducción a la Biología Forestal*. México: Agt editor, S.A.
- Herbert, T., Vonada, R., Jenkins, M. y Bayon, R. (2010). Fondos ambientales y pagos por servicios Ambientales: proyecto de capacitación de RedLAC para fondos ambientales. Brasil.
- Hergoualc'h, K., Gutiérrez-Vélez, V.H., Menton, M. y Verchot, L.V. (2017). Caracterización de la degradación de los pantanos de palmeras turbosos desde el espacio y sobre el terreno: Un estudio exploratorio en la Amazonía peruana. Documentos Ocasionales 179. Bogor, Indonesia: CIFOR.
- Honorio, E.N., Vega, J.E. y Corrales, M.N. (2015). Diversidad, Estructura y Carbono de los Bosques Aluviales del Noreste Peruano. *Folia Amazónica* 24(1): 55-70. <http://www.Rainfor.org/upload/publicationstore/2015/honorio/diversidad,estructuray/carbono/de/los/bosques/aluviales/del/noreste/peruano.pdf>
- Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana [IIAP]. (2006). Servicios ambientales de almacenamiento y secuestro de carbono del ecosistema aguajal en la Reserva Nacional Pacaya Samiria, Loreto-Perú: IAP. Documento Técnico N° 29.
- Jumbo, C.A., Arévalo, C.D. y Ramírez-Cando, L.J. (2015). Medición de carbono del estrato arbóreo en un área del bosque natural Tinajillas-Limón Indanza, Ecuador. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 27(1):51-63. <http://doi.org/10.17163/lgr.n27.2018.04>.
- Kahn, F. y Mejía, K. (1991). Las comunidades de palmeras en los ecosistemas forestales inundables de la Amazonía peruana. *Folia Amazónica* 3:49-60.
- Lapeyre, T., Alegre, J. y 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), 35-44. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172622162004-000100006&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S172622162004-000100006&script=sci_abstract).
- Lozano, T.L. (2007). Los Sumideros De Carbono: Un Análisis de la Potencialidad Económica en un Bosque de Manglar del Pacífico Colombiano. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*. 6: 82-92. <https://www.redalyc.org/articulo/id=231120826007>.

- Llerena, C.A. y Yalle, S.R. (2014). Los servicios ecosistémicos en el Perú. *Xilema*. 27: 62-75. <https://www.Llerena-Yalle-2014-Servicios-Ecosistémicos-Perú.pdf>
- Macías, F., Campos, L. y Rodríguez, M. (2005). Alternativas de secuestro de carbono orgánico en suelos y biomasa de Galicia. *Recursos Rurais*. 1: 71-85. [http://www.DialnetalternativasdesecuestrodecarbonoorganicoensuelosYB317882220\(2\).pdf](http://www.DialnetalternativasdesecuestrodecarbonoorganicoensuelosYB317882220(2).pdf).
- Malca, G.A., Guimet, H.R. y Cavero, B.E. (2013). Evaluación de la biomasa y el carbono presentes en los bosques del departamento de Loreto 2012, Perú. Conocimiento amazónico. 4(2), 131-139. [Revistas.unapiquitos.edu.pe/Conocimientoamazónico>article>view](http://Revistas.unapiquitos.edu.pe/Conocimientoamazónico/article/view).
- Martel, C. y Cairampoma, L. (2012). Cuantificación Del Carbono Almacenado En Formaciones Vegetales Amazónicas En “Cicra”, Madre De Dios Perú. *Ecología aplicada*. 11(2), 59-65. <http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci.arttext&pid=S172622162012000200003>.
- Masera, O. (1995). *Los bosques y el Cambio Climático Global* (pp.536-537, 43-47). Universidad de México.
- Melack, J. M. y Hess, L. L. (2010). Remote sensing of the distribution and extent of wetlands in the Amazon basin. In: Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Wittmann, F., Schöngart, J., y Parolin, P.(Eds.), *Amazonian floodplain forests* (pp. 43-59). Springer.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2009). Cambio climático. Lima.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2014). Estimación de los contenidos de carbono de la biomasa aérea en los bosques de Perú. Lima.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015a). Estrategia Nacional de Humedales. Dirección General de Diversidad biológica. Lima.
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015b). Guía de inventario de la flora y vegetación. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima.

- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015c). Mapa nacional de cobertura vegetal: memoria descriptiva. Dirección General de Evaluación, Valoración y Financiamiento del Patrimonio Natural. Lima.
- Muñoz, C. (2011). *Cómo elaborar y asesorar una investigación de tesis*. México. Pearson educación.
- Naciones Unidas. (1998). Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/kpspan.pdf>.
- Pacheco, F.C., Aldrete, A., Gómez, A., Fierros, A.M., Cetina, V.M. y Vaquera, H. (2007). Almacenamiento de carbono en la biomasa aérea de una plantación joven de *Pinus greggii* Engelm. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 251–254.
- Pallqui, N.A., Monteagudo, O.L., Phillips, G., Lopez-Gonzalez, L., Cruz, W., Galiano, W., Chavez, R. y Vásquez. (2014). Dinámica, biomasa aérea y composición florística en parcelas permanentes Reserva Nacional Tambopata, Madre de Dios, Perú. *Revista peruana de biología* 21(3): 235 - 242. doi: <http://dx.doi.org/10.15381/rpb.v21i3.10897>
- Pelínco, E. (2018). *Estimación de captura de dióxido de carbono en totorales de la reserva nacional del Titicaca sector Puno*. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Pérez, K.E. y Mijares, F.J. (2013). Distribución, composición florística, estructura y estado de conservación de los morichales en el departamento de Arauca, Colombia (pp. 104-105). En: Lasso, C.A., Rial, A y González-Boscán, V. (Editores), *VII. Morichales y Cananguachales de la Orinoquia y Amazonía: Colombia-Venezuela. Parte I*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Quinteros, Y., Roca, F.A. y Quinteros, V. (2016). Ecología, uso y conservación de los aguajales en el Alto Mayo, San Martín. Un estudio sobre las concentraciones de *Mauritia flexuosa* en la Selva Peruana (pp.265-276). En: Lasso, C.A., Colonnello, G y Moraes, M. R. (Editores), *XIV. Morichales, Cananguachales y otros palmares inundables de Suramérica. Parte II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.

- Quinteros-Gómez, Y.M., Monroy-Vilchis, O., Zarco-González, M.M., Endara-Agramont, A. R. y Pacheco, P. (2021). Composición, estructura y patrón de distribución en tres pantanos de palmeras amazónicas. *Revista Mexicana de Biodiversidad*.
- Rojas, V. (2013). Los Servicios Ambientales. *Revista de derecho de la Universidad de Montevideo*. Pp. 37-44
- Rügnitz, M. T., Chacón, M. L. y Porro, R. (2009). Guía para la determinación de carbono en pequeñas propiedades rurales. Primera edición. Lima, Perú: *Centro Mundial Agroforestal (ICRAF)*. Consorcio Iniciativa Amazónica (IA). 79 p.
- Ruiz, J. y Levistre, J. (2011). “El Aguajal”: El Bosque de la vida en la Amazonía Peruana. *Ciencia Amazónica*, 1(1), 31- 40. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/download/articulo/5072914.pdf>.
- Schargel, R. (2007). Aspectos físico-naturales, geomorfología y suelos. Pp. 21-42. En: Duno de Stefano, R., Aymard, G. y O. Huber (Eds.), Catálogo anotado e ilustrado de la flora vascular de los llanos de Venezuela. Fundación para la Defensa de la Naturaleza (FUDENA), Fundación Empresas Polar y Fundación Instituto Botánico de Venezuela. Caracas.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales [SEMARNAT]. (2003). La degradación de los suelos en México. <http://www.semarnat.gob.mx>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología [SENAMHI]. (2009). Boletín Hidrometeorológico de San Martín. Dirección zonal. San Martín-Perú. pp. 19.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2016a). La pérdida de bosques húmedos amazónicos peruanos. <https://www.serfor.gob.pe/noticias/forestal/la-perdida-de-bosques-humedos-amazonicos-peruanos-en-el-2015-fue-de-156-mil-hectareas>.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre [SERFOR]. (2016b). Marco Metodológico del Inventario Nacional Forestal y de Fauna Silvestre-Perú. <https://www.serfor.gob.pe/wp-content/uploads/2016/05/Marco-metodologico-INFFS.pdf>.

- Sistema Europeo de Negociación de CO<sub>2</sub> [SENDECO<sub>2</sub>]. (2019). Consulta los datos comerciales y de Sistema Europeo De Negociación de Co2. <https://www.sendeco2.com/es/>
- Smith, R. y Smith, T. (2001). *Ecología*. Madrid-España: Pearson Addison. (4 ed.). 664 pp.
- Sotero, V., Luján, M., Freitas, L., Merino, C. y Dávila, E. (2013). Estabilidad y actividad antioxidante de la pulpa liofilizada de tres morfotipos de aguaje (*Mauritia flexuosa* L. f.). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 79(2), 136-143. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2013000200006](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2013000200006)
- Tarrillo, L. (2020). *Evaluación de la cantidad de carbono capturado por el aguajal (Mauritia flexuosa L.) en el sector de Tangumi, Calzada - Moyobamba - San Martín*. (Tesis de grado). Universidad Católica Sedes Sapientiae.
- Ten, P., Russi, D., Farmer A., Badura, T., Coates, D., Förster, J., Kumar, R. y Davidson, N. (2013). La Economía de los Ecosistemas y la Biodiversidad relativa al agua y los humedales. [https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/teebwaterwetlandsexecsum\\_2013-sp.pdf](https://www.ramsar.org/sites/default/files/documents/library/teebwaterwetlandsexecsum_2013-sp.pdf)
- Torres-Torres, J., Mena-Mosquera, V. y Álvarez-Dávila, E. (2017). Carbono aéreo almacenado en tres bosques del Jardín Botánico del Pacífico, Chocó, Colombia. *Unilibre Cali* 13(1), 200-209. <http://www.scielo.org.co/pdf/entra/v13n1/1900-3803-entra-13-01-00200.pdf>.
- Trujillo-González, J. M., Torres, M. A. M. y Santana, E. C. (2011). La palma de Moriche (*Mauritia flexuosa* L.f.) un ecosistema estratégico. *Orinoquia* 15: 62-70.
- Urrego, L.E., Galeano, A., Sánchez, M. y Peñuela, M. (2013). Paleoecología, ecología y etnobotánica de los cananguachales de la Amazonía colombiana. En: Lasso, C.A., Rial, A y González- Boscán, V. (Editores), *VII. Morichales y Cananguachales de la Orinoquia y Amazonía: Colombia-Venezuela. Parte I*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Vicencio, J. (2019). Bosques: los pulmones de la tierra. Blog oficial de la Dirección Meteorológica de Chile. <http://blog.meteochile.gob.cl/2019/05/23/bosques-los-pulmones-de-la-tierra>.

- Wittmann, F., Schongart, J., Montero, J. C., Motzer, T., Junk, W. J., Piedade, M. T. F., Queiroz, H. L. y Worbes, M. (2006). Tree species composition and diversity gradients in white water forests across the Amazon Basin. *Journal of Biogeography*, 33, 1334-1347.
- Zamora-Abrego, J.G., Ruiz-Martínez, E., Urrego-Giraldo, L.E., Galeano-Gonzales, Y.A., Acevedo-Quintero, J.F. y Peñuela-Mora, M.C. (2016). Aproximación demográfica de una población de la palma *Mauritia flexuosa* en la Amazonía colombiana. En: Lasso, C.A., Colonnello, G y Moraes, M. R.(Editores), *XIV. Morichales, Cananguachales y otros palmares inundables de Suramérica. Parte II: Colombia, Venezuela, Brasil, Perú, Bolivia, Paraguay, Uruguay y Argentina*. Bogotá: Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander von Humboldt.
- Zanne, A., Lopez-González, G., Coomes, D., Ilic, J., Jansen, S., Lewis, S., Miller, R., Swenson, N., Wiemann, M. y Chave, J. (2009). Global Wood density database.

## TERMINOLOGÍA

**Aguajal.** Es un humedal amazónico denominado por formaciones vegetales de *Mauritia flexuosa* “aguaje” y especies adaptadas a este tipo de ecosistemas como *Coussapoa trinervia*, *Virola elongata*, *Ficus* sp., entre otros (Ruiz y Levistre, 2011).

**Aguaje.** *Mauritia flexuosa* es una palmera amazónica que puede medir hasta 35 m de altura. Cada palmera genera aproximadamente 8 racimos y en promedio de 725 frutos por racimo (IIAP, 2006).

**Altura total.** La altura total refiere a la distancia vertical entre la superficie del suelo y la yema terminal de los individuos arbóreos (Grijpma, 2008).

**Área basal.** El área basal o el área basimétrica es la superficie de la sección transversal de un árbol a la altura del pecho (Grijpma, 2008).

**Biomasa.** La masa de organismos vivos en un bosque se llama biomasa, es decir el peso de todos los organismos que viven en una región delimitada con precisión (Condit, 2008). La cantidad de materia viva de origen vegetal o animal presente en un momento dado en un área determinada (García y Martínez, 2014).

**Biomasa aérea.** Se refiere a la vegetación viva que se encuentra sobre el nivel del suelo, compuesta por: troncos, ramas, tallos, frutos, hojas y flores. No está incluida la materia orgánica en proceso de descomposición (Rügnitz *et al.*, 2009).

**Cinta diamétrica.** Es un instrumento de medición, que consiste en medir la circunferencia del árbol con una cinta flexible; el resultado debe dividirse por 3,1416 ( $\pi$ ) para obtener el diámetro (Buce y Schumacher, 1965).

**Diámetro.** El diámetro de árboles en pie se debe medir a una altura de 1,30 m por encima del nivel del suelo; este diámetro se llama diámetro a la altura del pecho (DAP). Para ello se puede emplear instrumentos de medición como forcípulas o cinta diamétrica (Grijpma, 2008).

**Humedal amazónico.** Son terrenos saturados de agua que abarca la llanura amazónica como los lagos y lagunas, complejos de orillales, kársticos amazónicos, pantanos amazónicos (aguajales, renacales, pungales, pantanos mixtos de palmeras, pantanos herbáceos y pantanos arbustivos), bosques de tahuampa, sabanas inundables de palmeras y varillales húmedos (MINAM, 2015a).

**Volumen del tronco:** Es la multiplicación de la altura total del árbol por el área basal y un factor mórfico. La variación en el grado de crecimiento de cada lugar provoca que la especie presente variaciones en el volumen de madera que produce (Harold y Hocker, 1979).

**Especies endémicas:** Son especies que poseen distribución limitada a un espacio geográfico en particular. Es decir, pueden distribuirse dentro de un país, región o por límites ecológicos (MINAM, 2015b).

## APÉNDICES

Apéndice 1. Abundancia de las palmeras y especies arbóreas con DAP  $\geq$  10 cm por hectárea en la zona aguajal denso

Familia	Especie	Abundancia
Annonaceae	<i>Oxandra sphaerocarpa</i> R.E.Fr.	6
Apocynaceae	<i>Tabernaemontana sananho</i> Ruiz & Pav.	6
Arecaceae	<i>Euterpe precatória</i> Mart.	20
	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	256
	<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	58
	<i>Oenocarpus mapora</i> H.Karst.	8
	<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	1
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	187
Combretaceae	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	3
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea robusta</i> Uittien	1
Euphorbiaceae	<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp	14
	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	8
	<i>Hura crepitans</i> L.	1
Lauraceae	<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F.Macbr.	2
	<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	2
	<i>Ocotea</i> sp.	4
Fabaceae	<i>Inga stenoptera</i> Benth.	1
Malvaceae	<i>Matisia bracteolosa</i> Ducke	3
Melastomataceae	<i>Miconia ternatifolia</i> Triana	1
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	2
Moraceae	<i>Ficus castelviana</i> Dugand	3
	<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	1
	<i>Ficus krukovi</i> Standl.	1
	<i>Ficus maxima</i> Mill.	2
	<i>Ficus trigona</i> L.f.	2

Abundancia de las palmeras y especies arbóreas con DAP  $\geq$  10 cm por hectárea en la zona aguajal denso (continuación)

Myristicaceae	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	96
Primulaceae	<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult..	8
Urticaceae	<i>Coussapoa trinervia</i> Spruce ex Mildbr.	38
	Total	735

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 2. Abundancia de las palmeras y especies arbóreas con DAP  $\geq$  10 cm por hectárea en la zona aguajal semidenso

Familia	Especie	Abundancia
Annonaceae	<i>Oxandra sphaerocarpa</i> R.E.Fr.	9
	<i>Xylopia ligustrifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Dunal	1
Arecaceae	<i>Euterpe precatória</i> Mart.	56
	<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	184
	<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	3
	<i>Oenocarpus mapora</i> H.Karst.	15
	<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	2
Clusiaceae	<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	90
	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	5
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea robusta</i> Uittien	2
Euphorbiaceae	<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	10
	<i>Hura crepitans</i> L.	1
Lauraceae	<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F.Macbr.	1
Fabaceae	<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	2
	<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	2
	<i>Machaerium floribundum</i> Benth.	164
	<i>Macrolobium bifolium</i> (Aubl.) Pers	4
	<i>Senna quinquangulata</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby	2

Abundancia de las palmeras y especies arbóreas con DAP  $\geq$  10 cm por hectárea en la zona aguajal semidenso (continuación)

Meliaceae	<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz..	1
Meliaceae	<i>Cedrela odorata</i> L.	1
Moraceae	<i>Ficus pertusa</i> L.f.	2
	<i>Sorocea muriculata</i> Miq	1
Myristicaceae	<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	1
	<i>Myrsine pellucida</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	1
	<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	105
	<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	1
Picramniaceae	<i>Picramnia martiniana</i> J.F. Macbr.	3
Polygonaceae	<i>Triplaris longifolia</i> Huber	3
	<i>Triplaris poeppigiana</i> Wedd	1
Primulaceae	<i>Ardisia huallagae</i> Mez	2
	<b><i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. &amp; Schult.</b>	1
Rhamnaceae	<i>Colubrina spinosa</i> Donn. Sm.	1
Rubiaceae	<i>Psychotria alba</i> Ruiz & Pav.	1
	<i>Psychotria ernestii</i> K. Krause	1
Urticaceae	<i>Coussapoa trinervia</i> Spruce ex Mildbr.	2
	Total	683

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 3. Biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y precio de carbono por hectárea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso

Especies	Biomasa	Carbono	CO <sub>2</sub>	Precio Carbono \$
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp	1,44	0,72	2,65	36,37
<i>Cedrela odorata</i> L.	0,14	0,07	0,26	3,55
<i>Coussapoa trinervia</i> Spruce ex Mildbr.	16,34	8,17	29,99	411,40
<i>Euterpe precatória</i> Mart.	1,62	0,81	2,97	40,70
<i>Ficus castellviana</i> Dugand	0,16	0,08	0,30	4,08
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	0,88	0,44	1,61	22,14
<i>Ficus krukovi</i> Standl.	0,03	0,01	0,05	0,74
<i>Ficus maxima</i> Mill.	0,09	0,04	0,16	2,16
<i>Ficus trigona</i> L.f.	0,41	0,21	0,76	10,39
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	0,86	0,43	1,58	21,69
<i>Hura crepitans</i> L.	0,02	0,01	0,04	0,62
<i>Inga stenoptera</i> Benth.	0,05	0,03	0,10	1,34
<i>Matisia bracteolosa</i> Ducke	0,08	0,04	0,14	1,94
<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	98,02	49,01	179,88	2467,89
<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	2,98	1,49	5,46	74,96
<i>Miconia ternatifolia</i> Triana	0,02	0,01	0,04	0,49
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	0,53	0,26	0,97	13,31
<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F.Macbr.	0,22	0,11	0,41	5,56
<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	0,17	0,08	0,30	4,17
<i>Ocotea</i> sp.	0,38	0,19	0,70	9,56
<i>Oenocarpus mapora</i> H.Karst.	0,29	0,14	0,53	7,21
<i>Oxandra sphaerocarpa</i> R.E.Fr.	0,29	0,14	0,53	7,23
<i>Sloanea robusta</i> Uittien	0,04	0,02	0,07	0,92
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	0,02	0,01	0,04	0,52
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	20,45	10,23	37,53	514,95

Fuente: Elaboración propia.

Biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y precio de carbono por hectárea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal denso (continuación)

<i>Tabernaemontana sananho</i> Ruiz & Pav.	0,35	0,17	0,64	8,71
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	1,12	0,56	2,06	28,31
<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	19,05	9,52	34,95	479,49
Total general	166,05	83,02	304,70	4180,42

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 4. Biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y precio de carbono por hectárea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal semidenso

Especie	Carbono	Biomasa	CO <sub>2</sub>	Precio de Carbono \$
<i>Ardisia huallagae</i> Mez	0,11	0,06	0,21	2,86
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	0,01	0,01	0,02	0,30
<i>Cedrela odorata</i> L.	0,02	0,01	0,04	0,55
<i>Colubrina spinosa</i> Donn. Sm.	0,03	0,01	0,05	0,67
<i>Coussapoa trinervia</i> Spruce ex Mildbr.	0,57	0,28	1,04	14,27
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	5,27	2,64	9,67	132,74
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	0,07	0,04	0,13	1,83
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	0,41	0,20	0,75	10,25
<i>Hura crepitans</i> L.	0,02	0,01	0,04	0,62
<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	0,12	0,06	0,22	3,05
<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	0,16	0,08	0,30	4,11
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	0,08	0,04	0,14	1,95
<i>Machaerium floribundum</i> Benth.	18,62	9,31	34,16	468,67
<i>Maclobium bifolium</i> (Aubl.) Pers	0,21	0,10	0,38	5,28
<i>Matisia bracteolosa</i> Ducke	0,25	0,12	0,45	6,18
<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	79,17	39,58	145,27	1 993,16
<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	0,11	0,06	0,21	2,82
<i>Miconia ternatifolia</i> Triana	0,03	0,01	0,05	0,65

Biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y precio de carbono por hectárea de las palmeras y especies arbóreas del aguajal semidenso (continuación)

<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	0,03	0,01	0,05	0,67
<i>Myrsine pellucida</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	0,02	0,01	0,03	0,38
<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F.Macbr.	0,03	0,01	0,05	0,66
<i>Oenocarpus mapora</i> H.Karst.	0,95	0,47	1,74	23,82
<i>Oxandra sphaerocarpa</i> R.E.Fr.	0,50	0,25	0,92	12,67
<i>Picramnia martiniana</i> J.F. Macbr.	0,03	0,02	0,06	0,78
<i>Psychotria alba</i> Ruiz & Pav.	0,02	0,01	0,04	0,57
<i>Psychotria ernestii</i> K. Krause	0,01	0,01	0,02	0,30
<i>Senna quinquangulata</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby	0,08	0,04	0,14	1,91
<i>Sloanea robusta</i> Uittien	1,28	0,64	2,35	32,31
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	0,05	0,03	0,10	1,35
<i>Sorocea muriculata</i> Miq	0,02	0,01	0,04	0,56
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	13,40	6,70	24,60	337,49
<i>Triplaris longifolia</i> Huber	0,26	0,13	0,47	6,42
<i>Triplaris poeppigiana</i> Wedd	0,14	0,07	0,26	3,63
<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	2,71	13,85	50,84	697,54
<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	0,25	0,13	0,47	6,40
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	0,11	0,06	0,20	2,79
<i>Xylopia ligustrifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Dunal	0,05	0,02	0,09	1,19
Total general	150,20	75,10	275,61	3 781,39

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 5. Biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y precio de carbono por familia en la zona aguajal denso

Etiquetas de fila	Biomasa aérea (Mg/ha <sup>-1</sup> )	Carbono (MgC/ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (MgCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> )	Precio de Carbono \$
Annonaceae	0,29	0,14	0,53	7,23
Apocynaceae	0,35	0,17	0,64	8,71
Arecaceae	102,93	51,46	188,87	2 591,29
Clusiaceae	20,45	10,23	37,53	514,95
Combretaceae	1,12	0,56	2,06	28,31
Elaeocarpaceae	0,04	0,02	0,07	0,92
Euphorbiaceae	2,33	1,17	4,28	58,68
Lauraceae	0,77	0,38	1,41	19,30
Fabaceae	0,05	0,03	0,10	1,34
Malvaceae	0,08	0,04	0,14	1,94
Melastomataceae	0,02	0,01	0,04	0,49
Meliaceae	0,14	0,07	0,26	3,55
Moraceae	1,57	0,78	2,88	39,51
Myristicaceae	19,05	9,52	34,95	479,49
Primulaceae	0,53	0,26	0,97	13,31
Urticaceae	16,34	8,17	29,99	411,40
Total general	166,05	83,02	304,70	4 180,42

*Fuente: Elaboración propia.*

Apéndice 6. Biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y precio de carbono por familia en la zona aguajal semidenso

Etiquetas de fila	Biomasa aérea (Mg/ha <sup>-1</sup> )	Carbono (MgC/ha <sup>-1</sup> )	CO <sub>2</sub> (MgCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> )	Precio de Carbono \$
Annonaceae	0,55	0,28	1,01	13,86
Arecaceae	85,55	42,78	156,99	2 153,89
Clusiaceae	13,52	6,76	24,80	340,27
Elaeocarpaceae	1,28	0,64	2,35	32,31
Euphorbiaceae	0,43	0,22	0,79	10,87
Lauraceae	0,03	0,01	0,05	0,66
Fabaceae	19,19	9,59	35,21	483,01
Malvaceae	0,25	0,12	0,45	6,18
Melastomataceae	0,03	0,01	0,05	0,65
Meliaceae	0,03	0,02	0,06	0,85
Moraceae	0,09	0,05	0,17	2,39
Myristicaceae	28,05	14,03	51,48	706,27
Picramniaceae	0,03	0,02	0,06	0,78
Polygonaceae	0,40	0,20	0,73	10,05
Primulaceae	0,14	0,07	0,26	3,53
Rhamnaceae	0,03	0,01	0,05	0,67
Rubiaceae	0,03	0,02	0,06	0,87
Urticaceae	0,57	0,28	1,04	14,27
Total general	150,20	75,10	275,61	3 781,39

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 7. Abundancia, biomasa aérea, carbono, CO<sub>2</sub> y valorización del servicio ambiental de captura de carbono del aguajal denso y aguajal semidenso

	Aguajal denso	Aguajal semidenso	Medias
N° de individuos (ind/ha <sup>-1</sup> )	735	683	709
Biomasa aérea (Mg/ha <sup>-1</sup> )	166,05	150,20	158,12
Carbono (MgC/ha <sup>-1</sup> )	83,02	75,10	79,06
CO <sub>2</sub> (MgCO <sub>2</sub> /ha <sup>-1</sup> )	304,70	275,61	290,16
PSA de almacenamiento de CO <sub>2</sub> (\$/ha <sup>-1</sup> )	4 180,42	3 781,39	3 980,91

*Fuente:* Elaboración propia.

Apéndice 8. Listado de todas las palmeras y especies arbóreas con valor de mayor a menor promedio de carbono capturado por parcela en Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado

Especies	Promedio de Carbono por Parcela
<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	4,430
<i>Virola elongata</i> (Benth.) Warb.	1,169
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	0,846
<i>Machaerium floribundum</i> Benth.	0,465
<i>Coussapoa trinervia</i> Spruce ex Mildbr.	0,423
<i>Euterpe precatória</i> Mart.	0,172
<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	0,077
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp	0,0361
<i>Sloanea robusta</i> Uittien	0,0330
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	0,0317
<i>Oenocarpus mapora</i> H.Karst.	0,0308
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	0,0281
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	0,0220
<i>Oxandra sphaerocarpa</i> R.E.Fr.	0,0198
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	0,0139
<i>Ficus trigona</i> L.f.	0,0103
<i>Ocotea</i> sp.	0,0095
<i>Tabernaemontana sananho</i> Ruiz & Pav.	0,0087
<i>Matisia bracteolosa</i> Ducke	0,0081
<i>Triplaris longifolia</i> Huber	0,0064
<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	0,0064
<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F.Macbr.	0,0062
<i>Macrolobium bifolium</i> (Aubl.) Pers	0,0052
<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	0,0041
<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	0,0041
<i>Cedrela odorata</i> L.	0,0041
<i>Ficus castelviana</i> Dugand	0,0041

Listado de todas las palmeras y especies arbóreas con valor de mayor a menor promedio de carbono capturado por parcela en Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal-Renacal del Alto Mayo, sector río Avisado (continuación)

---

<i>Triplaris poeppigiana</i> Wedd	0,0036
<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	0,0030
<i>Ardisia huallagae</i> Mez	0,0028
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	0,0028
<i>Ficus maxima</i> Mill.	0,0021
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	0,0019
<i>Senna quinquangulata</i>	0,0019
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	0,0019
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	0,0018
<i>Inga stenoptera</i> Benth.	0,0013
<i>Hura crepitans</i> L.	0,0012
<i>Xylopia ligustrifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Dunal	0,0012
<i>Miconia ternatifolia</i> Triana	0,0011
<i>Picramnia martiniana</i> J.F. Macbr.	0,0008
<i>Ficus krukovii</i> Standl.	0,0007
<i>Colubrina spinosa</i> Donn. Sm.	0,0007
<i>Psychotria alba</i> Ruiz & Pav.	0,0006
<i>Sorocea muriculata</i> Miq	0,0006
<i>Myrsine pellucida</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	0,0004
<i>Psychotria ernestii</i> K. Krause	0,0003
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	0,0003

---

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 9. Estado de conservación de las palmeras y especies arbóreas (DAP  $\geq$  10 cm) del Aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado

Nombre Científico	Zona	Origen	Categoría	CITES	N° de individuos
<i>Alchornea glandulosa</i> Poepp	D	N			14
<i>Ardisia huallagae</i> Mez	SD	N			2
<i>Cedrela montana</i> Moritz ex Turcz.	SD	N	Vu <sup>b</sup>		1
<i>Cedrela odorata</i> L.	D y SD		Vu <sup>a,b</sup>	III	3
<i>Colubrina spinosa</i> Donn. Sm.	SD				1
<i>Coussapoa trinervia</i> Spruce ex Mildbr.	D y SD	N			40
<i>Euterpe precatoria</i> Mart.	D y SD	N			76
<i>Ficus castelviana</i> Dugand	D	N	LC <sup>a</sup>		3
<i>Ficus citrifolia</i> Mill.	D	N			1
<i>Ficus krukovii</i> Standl.	D	N	LC <sup>a</sup>		1
<i>Ficus maxima</i> Mill.	D	N			2
<i>Ficus pertusa</i> L.f.	SD	N			2
<i>Ficus trigona</i> L.f.	D	N	LC <sup>a</sup>		2
<i>Hieronyma alchorneoides</i> Allemão	D y SD				18
<i>Hura crepitans</i> L.	D y SD	N			2
<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	SD	N	LC <sup>a</sup>		2
<i>Inga cayennensis</i> Sagot ex Benth.	SD				2
<i>Inga stenoptera</i> Benth.	D	N			1
<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	SD				1
<i>Machaerium floribundum</i> Benth.	SD	N			164
<i>Macrobium bifolium</i> (Aubl.) Pers	SD	N			4
<i>Matisia bracteolosa</i> Ducke	D y SD	N			4
<i>Mauritia flexuosa</i> L.f.	D y SD	N			440
<i>Mauritiella armata</i> (Mart.) Burret	D y SD	N			61

Estado de conservación de las palmeras y especies arbóreas (DAP  $\geq$  10 cm) del Aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado (continuación)

<i>Miconia ternatifolia</i> Triana	D y SD	N	2
<i>Myrsine coriacea</i> (Sw.) R. Br. ex Roem. & Schult.	D y SD	N	9
<i>Myrsine pellucida</i> (Ruiz & Pav.) Spreng.	SD	N	1
<i>Nectandra acuminata</i> (Nees & C. Mart.) J.F.Macbr.	D y SD	N	3
<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	D	E	2
<i>Ocotea</i> sp.	D		4
<i>Oenocarpus mapora</i> H.Karst.	D y SD	N	23
<i>Oxandra sphaerocarpa</i> R.E.Fr.	D y SD	N	15
<i>Picramnia martiniana</i> J.F. Macbr.	SD	E	3
<i>Psychotria alba</i> Ruiz & Pav.	SD		1
<i>Psychotria ernestii</i> K. Krause	SD	N	1
<i>Senna quinquangulata</i> (Rich.) H.S. Irwin & Barneby	SD	N	2
<i>Sloanea robusta</i> Uittien	D y SD	N	3
<i>Socratea exorrhiza</i> (Mart.) H. Wendl.	D y SD	N	3
<i>Sorocea muriculata</i> Miq	SD	N	1
<i>Symphonia globulifera</i> L.f.	D y SD	N	277
<i>Tabernaemontana sananho</i> Ruiz & Pav.	D	N	6
<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav) Steud.	D	LC <sup>a</sup>	3
<i>Triplaris longifolia</i> Huber	SD	E	3
<i>Triplaris poeppigiana</i> Wedd	SD	N	1

Estado de conservación de las palmeras y especies arbóreas (DAP  $\geq$  10 cm) del Aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado (continuación)

<i>Viola elongata</i> (Benth.) Warb.	D y SD	N	201
<i>Viola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	SD	N	1
<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	SD	N	5
<i>Xylopia ligustrifolia</i> Humb. & Bonpl. ex Dunal	SD	N	1

Fuente: Elaboración propia.

Origen: N (nativo), E(endémico).

Categoría: EN (En peligro de extinción), VU (Vulnerable), LC (Preocupación menor).

a: Lista Roja UICN, b: Categorización de Especies Amenazadas de Flora Silvestre.

DS. N ° 043-2006-AG

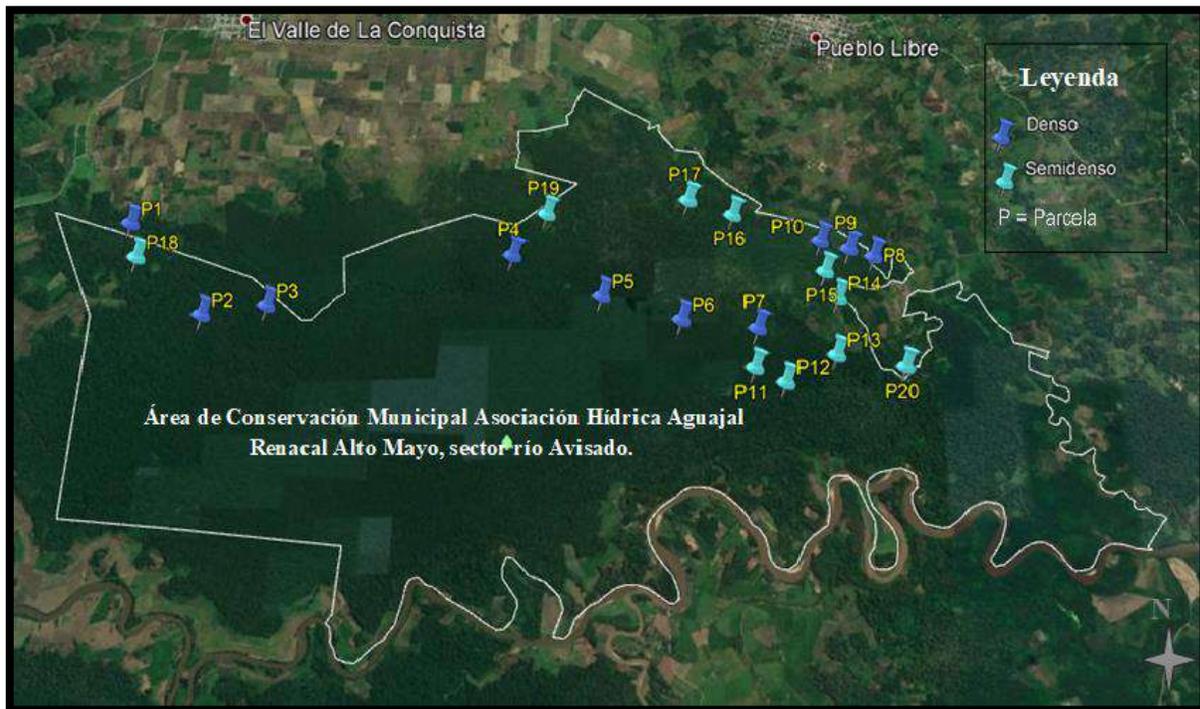
CITES (I, II, III)

Apéndice 10. Cuadro comparativo de resultados obtenidos sobre carbono capturado en la biomasa arbórea de otros humedales del Perú

<b>Autor del estudio</b>	<b>Lugar de estudio C</b>	<b>Humedales del Perú</b>	<b>Reservorio</b>	<b>MgC/ha<sup>-1</sup></b>	<b>Mg CO<sub>2</sub>/ha<sup>-1</sup></b>
<b>Presente estudio Quinteros (2021)</b>	Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado.	Humedal Amazónica	Biomasa Aérea	79,06	290,15
<b>Corvacho (2019)</b>	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), Lima, Perú	Humedal Costero	Biomasa Aérea	53,41	196,01
<b>Mita (2019)</b>	Bofedales de la laguna de Conococha provincia de Recuay - departamento de Ancash - 2018	Humedal andino	Biomasa Aérea	14,33	
<b>Ampuero (2018)</b>	Refugio de Vida Silvestre Los Pantanos de Villa (RVSPV), Lima, Perú	Humedal Costero	Biomasa Aérea	53,23	195,35
<b>Pelinco (2018)</b>	Reserva Nacional del Titicaca, Sector Puno, Puno, Perú	Humedal andino	Biomasa Aérea	13,12	48,15
<b>Gutiérrez (2017)</b>	Área de Conservación Regional La Albufera de Medio Mundo (ACRAMM), Lima, Perú	Humedal Costero	Biomasa Aérea	4	14,68
<b>Pérez et al. (2015)</b>	Humedales de Villa María, Ancash, Perú	Humedal Costero	Biomasa Aérea	16,83	61,77
<b>Palomino y Cabrera (2008)</b>	Humedales de Puerto Viejo, Lima, Perú	Humedal Costero	Biomasa Aérea	15,5	57,07

Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 11. Mapa de ubicación de las parcelas evaluadas en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 12. Ecosistema aguajal en el Área de Conservación Municipal Asociación  
Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado



*Fuente:* Elaboración propia.

Apéndice 13. Especies arbóreas en el Área de Conservación Municipal Asociación Hídrica Aguajal Renacal Alto Mayo, sector río Avisado. A) *Mauritia flexuosa* B) *Coussapoa trinervia*



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 14. Georreferenciación de las palmeras.



Fuente: Elaboración propia.

## Apéndice 15. Delimitación de las parcelas



*Fuente:* Elaboración propia.

## Apéndice 16. Medición de altura de palmeras y especies arbóreas



*Fuente:* Elaboración propia.

Apéndice 17. Medición del Diámetro a la Altura del Pecho (DAP) de las palmeras y especies arbóreas



Fuente: Elaboración propia.

Apéndice 18. Coordenadas de las parcelas en el área de estudio

Vértice	Parcelas	Coordenadas		Altitud
		Este	Norte	
1	1	257072	9347291	834
2		257121	9347292	821
3		257121	9347274	819
4		257072	9347271	832
1	2	257998	9346195	818
2		258050	9346193	824
3		257998	9346172	818
4		257999	9346173	821
1	3	258762	9346287	838
2		258720	9346315	817
3		258750	9346268	824
4		258709	9346295	835
1	4	261394	9346917	833
2		261444	9346907	819
3		261442	9346887	824
4		261393	9346890	832
1	5	262405	9346439	824
2		262454	9346429	826
3		262449	9346409	829

4		262401	9346418	822
1		263285	9346158	826
2	6	263334	9346151	819
3		263330	9346131	822
4		263282	9346136	828
1		264119	9346063	821
2	7	264169	9346058	824
3		264167	9346039	822
4		264119	9346046	824
1		265449	9346921	823
2	8	265493	9346901	816
3		265484	9346883	819
4		265438	9346902	826
1		265174	9347012	824
2	9	265222	9347003	827
3		265215	9346982	822
4		265169	9346992	818
1		264854	9347108	818
2	10	264900	9347089	823
3		264894	9347069	824
4		264848	9347090	819
1		264080	9345613	828
2	11	264128	9345603	824
3		264120	9345585	823
4		934558	9345593	826
1		264420	9345460	819
2	12	264464	9345436	816
3		264453	9345417	822
4		264410	9345442	821
1		264959	9345738	828
2	13	265004	9345764	835
3		265017	9345751	830
4		264974	9345724	826
1		265026	9346427	823
2	14	265045	9346427	827
3		265057	9346380	825
4		265038	9346379	819
1		264890	9346738	838
2	15	264905	9346751	824
3		264937	9346713	823
4		264924	934670	826
1		263873	9347421	832
2	16	263921	9347407	829
3		263915	9347389	825
4		263867	9347402	827
1		263380	9347612	820

2	17	263401	9347611	827
3		263397	9347564	829
4		263375	9347565	822
1		257195	9346883	838
2	18	257216	9346886	824
3		257229	9346838	828
4		257207	9346835	833
1		261755	9347394	835
2	19	261793	9347426	838
3		261811	9347417	850
4		261773	9347385	829
1		265693	9345632	821
2	20	265742	9345636	838
3		265740	9345617	824
4		265691	9345613	826

*Fuente:* Elaboración propia.