



**UNAP**



**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
DOCTORADO EN AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TESIS**

**VOLUMEN DE AGUA ALMACENADA EN LOS ÁRBOLES Y SU  
CONTRIBUCIÓN A LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES  
DE LA AMAZONÍA PERUANA. 2021**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTADO POR: NÉLIDA BARBAGELATA RAMÍREZ**

**ASESOR: ING. FOR. RODIL TELLO ESPINOZA, DR.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2023**



**UNAP**



**FACULTAD DE AGRONOMÍA  
DOCTORADO EN AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE**

**TESIS**

**VOLUMEN DE AGUA ALMACENADA EN LOS ÁRBOLES Y SU  
CONTRIBUCIÓN A LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES  
DE LA AMAZONÍA PERUANA. 2021**

**PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE DOCTORA EN AMBIENTE Y  
DESARROLLO SOSTENIBLE**

**PRESENTADO POR: NÉLIDA BARBAGELATA RAMÍREZ**

**ASESOR: ING. FOR. RODIL TELLO ESPINOZA, DR.**

**IQUITOS, PERÚ**

**2023**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS  
N°120-2023-OAA-EPG-UNAP**

En Iquitos, en el auditorio de la Escuela de Postgrado (EPG) de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana (UNAP), a los dieciocho días del mes de octubre de 2023 a horas 10:00 a.m., se dió inicio a la sustentación de la tesis denominada "VOLUMEN DE AGUA ALMACENADA EN LOS ÁRBOLES Y SU CONTRIBUCIÓN A LA CONSERVACIÓN DE LOS BOSQUES DE LA AMAZONÍA PERUANA 2021", aprobado con Resolución Directoral N°1243-2023-EPG-UNAP, presentado por la egresada NELIDA BARBAGELATA RAMIREZ, para optar el Grado Académico de Doctora en Ambiente y Desarrollo Sostenible, que otorga la UNAP de acuerdo a la Ley Universitaria 30220 y el Estatuto de la UNAP.

El jurado calificador designado mediante Resolución Directoral N°1209-2022-EPG-UNAP, esta conformado por los profesionales siguientes:

- Ing. Agron. Rafael Chávez Vásquez, Dr. (Presidente)
- Ing. Agron. Julio Pinedo Jiménez, Dr. (Miembro)
- Ing. For. Segundo Córdova Horna, Dr. (Miembro)

Después de haber escuchado la sustentación y luego de formuladas las preguntas, éstas fueron respondidas: Sí, sí/no, sí/no

Finalizado la evaluación; se invitó al público presente y a la sustentante abandonar el recinto; y, luego de una amplia deliberación por parte del jurado, se llegó al resultado siguiente:

La sustentación pública y la tesis han sido Aprobadas con calificación Buena

A continuación, el Presidente del Jurado da por concluida la sustentación, siendo las 19:00 del dieciocho de octubre de 2023; con lo cual, se le declara a la sustentante Apta para recibir el Grado Académico de Doctora en Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Ing. Agron. Rafael Chávez Vásquez, Dr.  
Presidente

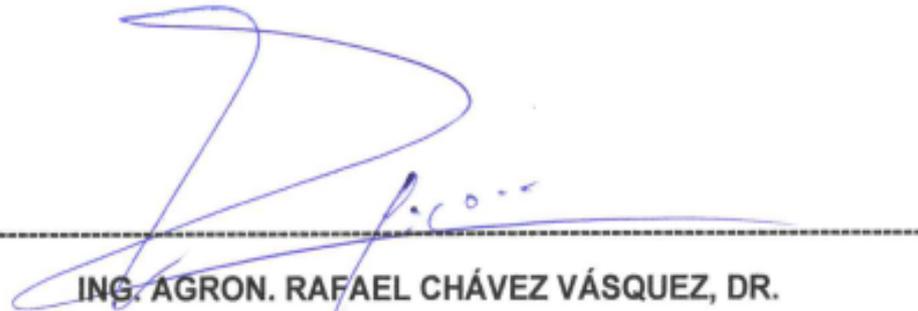
Ing. Agron. Julio Pinedo Jiménez, Dr.  
Miembro

Ing. For. Segundo Córdova Horna, Dr.  
Miembro

Ing. For. Rodolfo Tello Espinoza, Dr.  
Asesor

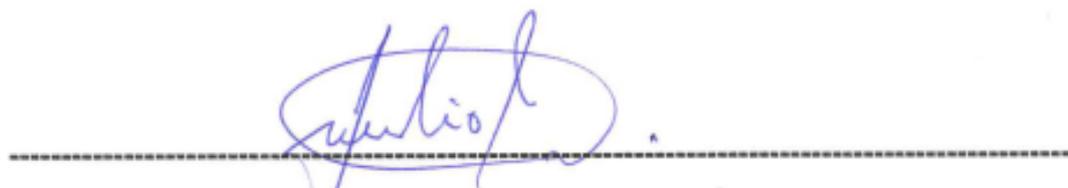


TESIS APROBADA EN SUSTENTACIÓN PÚBLICA EL 18 DE OCTUBRE  
DEL 2023 EN EL AUDITORIO DE LA ESCUELA DE POSTGRADO DE LA  
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONÍA PERUANA, EN LA CIUDAD  
DE IQUITOS-PERÚ



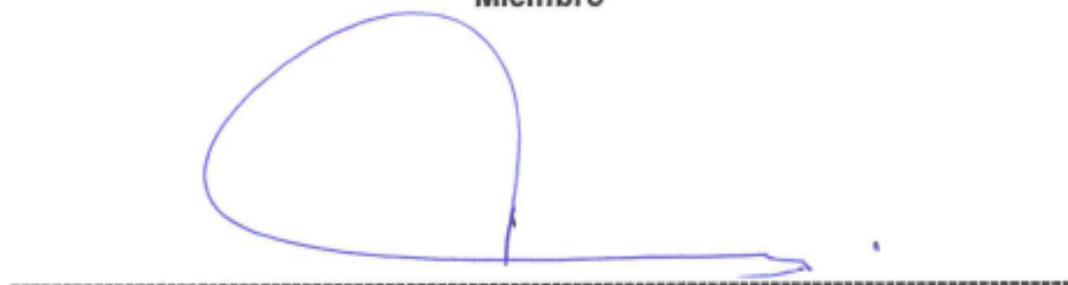
---

ING. AGRON. RAFAEL CHÁVEZ VÁSQUEZ, DR.  
Presidente



---

ING. AGRON. JULIO PINEDO JIMÉNEZ, DR.  
Miembro



---

ING. FOR. SEGUNDO CÓRDOVA HORNA, DR.  
Miembro



---

ING. FOR. RODIL TELLO ESPINOZA, DR.  
Asesor

Nombre del usuario:  
**Universidad Nacional de la Amazonia Peruana**

Fecha de comprobación:  
**23.08.2022 09:29:01 CDT**

Fecha del informe:  
**23.08.2022 09:32:27 CDT**

ID de Comprobación:  
**71831443**

Tipo de comprobación:  
**Doc vs Internet**

ID de Usuario:  
**Ocultado por Ajustes de Privacidad**

Nombre de archivo: **TESIS NELIDA BARBAGELETA**

Recuento de páginas: **44** Recuento de palabras: **11276** Recuento de caracteres: **68924** Tamaño de archivo: **708.21 KB** ID de archivo: **82868024**

Modificaciones del texto detectadas (el índice de similitudes puede verse afectado)

## 12.7% de Coincidencias

La coincidencia más alta: **2.84%** con la fuente de Internet (<http://www.redalyc.org/pdf/628/62813142508.pdf>)

12.7% Fuentes de Internet 607

Página 46

No se llevó a cabo la búsqueda en la Biblioteca

## 22.8% de Citas

Citas 46

Página 47

No se han encontrado referencias

## 0% de Exclusiones

No hay exclusiones

## Modifind

Modificaciones del texto detectadas. Busque más detalles en el informe en línea.

Formateo sospechoso 9 Páginas

*Dedico este trabajo a mis cuatro hijos: Marcel Gerard, Carla Vivianne, Jean Maurice (en la Gloria del Señor) y Alexandra Rubí, por siempre impulsarme a lograr mis metas y ser mis mayores motivos de vida. ¡Gracias por siempre!!!!!!*

## AGRADECIMIENTO

Mi eterno agradecimiento a Dios Misericordioso por nunca abandonarme y brindarme su amor y fortaleza para continuar con mi vida después de superar, con su ayuda, las pruebas destinadas a mi persona.

Mi reconocimiento y agradecimiento al asesor de tesis, Dr. Rodil Tello Espinoza, por impulsarme a empezar y luego desarrollar la tesis doctoral, la orientación y participación en todo el proceso hasta su culminación.

Agradezco a los colegas de la Facultad de Ciencias Forestales, en especial al Ing. Richer Ríos Zumaeta, Dr., decano de la FCF; Ing. Pedro Ángel Angulo Ruiz Dr. e Ing. Jorge Solignac, Mg Sc, por el permanente apoyo profesional en diferentes momentos del desarrollo del presente trabajo.

Asimismo, agradezco el apoyo brindado en forma incondicional al Ing. Alberto Bazán, Mg Sc, docente de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias y, al Ing. Juan Rodrigo Baselly Villanueva, investigador del Programa Nacional Forestal de la Estación Experimental Agraria San Roque-INIA

Un agradecimiento especial a los miembros del jurado por las observaciones alcanzadas, así como el gran aporte y colaboración brindada, lo que me permitió profundizar más en el trabajo desarrollado y culminar con éxito.

Mi agradecimiento a los docentes Facultad de Ciencias Forestales por apoyarme y brindarme la información necesaria requerida para la realización de la tesis doctoral.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

	<b>Páginas</b>
Carátula	i
Contracarátula	ii
Acta de sustentación	iii
Jurado	iv
Resultado del informe de similitud	v
Dedicatoria	vi
Agradecimiento	vii
Índice de contenidos	viii
Índice de tablas	x
Índice de gráficos	xi
Resumen	xi
Abstract	xii
Resumo	xiii
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO</b>	<b>6</b>
1.1 Antecedentes	6
1.2. Bases teóricas	8
1.3. Definición de términos básicos	13
<b>CAPÍTULO II: VARIABLES E HIPÓTESIS</b>	<b>17</b>
2.1. Variables y su operacionalización	17
2.2 Formulación de la hipótesis	18
<b>CAPÍTULO III: METODOLOGÍA</b>	<b>19</b>
3.1. Tipo y diseño de la Investigación	19
3.2. Población y muestra	19
3.3. Técnicas e instrumentos	20
3.4. Procedimientos de recolección de datos	21
3.5. Técnicas de Procesamiento y análisis de los datos	21
3.6. Aspectos éticos	24
<b>CAPÍTULO IV: RESULTADOS</b>	<b>25</b>
<b>CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS</b>	<b>44</b>
<b>CAPÍTULO VI: PROPUESTA</b>	<b>53</b>
<b>CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES</b>	<b>55</b>
<b>CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES</b>	<b>56</b>
<b>CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>57</b>
<b>ANEXOS</b>	
Anexo 1. Promedio del volumen de agua de los cuatro bosques por repetición.	
Anexo 2. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza.	
Anexo 3. Promedio de volumen de agua por familia en el bosque intervenido Arboretum el Huayo.	

- Anexo 4. Promedio de volumen de agua por familia en el bosque primario de la RNAM.
- Anexo 5. Promedio de volumen de agua por familia en un bosque varillal alto húmedo.
- Anexo 6. Promedio de volumen de agua por familia en el bosque varillal alto seco.
- Anexo 7. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en el bosque intervenido del Arboretum el Huayo.
- Anexo 8. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en un bosque primario de la RNAM.
- Anexo 9. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en el bosque varillal alto húmedo.
- Anexo 10. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en un bosque varillal alto seco.
- Anexo 11. Indicadores para evaluar el estado de conservación de los bosques tropicales.
- Anexo 12. Promedio de la valoración por indicador y tipo de bosque para determinar el grado de conservación.
- Anexo 13. Número de árboles por hectárea y clase diamétrica.
- Anexo 14. Volumen de agua por hectárea y clase diamétrica.
- Anexo 15. Relación de daños y lianas con el estado de conservación.
- Anexo 16. Data para definir el estado de conservación de los bosques amazónicos.
- Anexo 17. Instrumento de recolección de datos.
- Anexo 18. Mapa de Zonas de Estudio.

## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Páginas</b>
Tabla 1. Número de repeticiones por tipo de bosques.	20
Tabla 2. Almacenamiento de agua promedio y variabilidad por tipo de bosque amazónico.	25
Tabla 3. Análisis de varianza: Pruebas de efectos inter sujetos de la variable dependiente: Volumen de agua en la madera (m <sup>3</sup> /ha).	26
Tabla 4. Promedio de volumen de agua por estrato y tipo de bosque.	27
Tabla 5. Evaluación de los indicadores de conservación por tipo de bosques.	42
Tabla 6. Volumen de agua y estado de conservación de los bosques amazónicos.	43

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

	<b>Páginas</b>
Gráfico 1. Comparación de medias del volumen de agua por tipo de bosque tropical amazónico.	26
Gráfico 2. Volumen de agua que aportan las familias en un bosque intervenido Arboretum el Huayo.	30
Gráfico 3. Volumen promedio de agua que aportan las familias en un bosque primario de la RNAM.	30
Gráfico 4. Volumen de agua que aportan las familias en un bosque varillal alto húmedo.	31
Gráfico 5. Volumen promedio de agua que aportan las familias en un bosque varillal alto seco.	32
Gráfico 6. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque intervenido Arboretum el Huayo.	33
Gráfico 7. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque primario de la RNAM.	34
Gráfico 8. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque varillal alto húmedo.	35
Gráfico 9. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque varillal alto seco.	35
Gráfico 10. Número total de familias y especies por tipo de bosque.	37
Gráfico 11. Relación entre número de árboles por ha y clase diamétrica.	38
Gráfico 12. Relación de volumen de agua por ha y clase diamétrica.	39
Gráfico 13. Mapa de calor y dendrograma de boques amazónicos.	40

## RESUMEN

La investigación tiene como objeto demostrar la variación entre el volumen de agua almacenada en árboles y su contribución a la conservación de bosques amazónicos. La población estuvo constituida por árboles con DAP  $\geq$  a 10cm en 32 ha, distribuidos en bosques de varillal alto seco, varillal alto húmedo, intervenido Arboretum el Huayo y bosque primario de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana-RNAM. El volumen de agua por árbol, se obtuvo usando la fórmula de diferencia del volumen total del árbol en estado fresco menos el volumen de biomasa del árbol. Para definir el estado de conservación de bosques se ponderaron valores obtenidos de trece indicadores: bueno, regular y malo. Los resultados indican diferencia estadística significativa del volumen de agua en árboles de bosques estudiados ( $F_c=7.551$ ,  $p= 0.0007$ ). Existe mayor variabilidad de volumen de agua en estratos superior e inferior y, menor variabilidad en el estrato medio. Existe alta variabilidad de especies y familias en bosques: varillal alto húmedo (179 sp., 35 fam.), varillal alto seco (130 sp, 35 fam.); bosque intervenido (131 esp., 32 fam); y bosque primario (245 sp, 42 fam.). Existe relación directa entre volumen de agua almacenada en árboles y su contribución para conservar bosques amazónicos: RNAM mayor volumen de agua (200,984m<sup>3</sup>/ha) estado de conservación bueno; varillal alto húmedo (116,212m<sup>3</sup>/ha), varillal alto seco (117,640m<sup>3</sup>/ha) y bosque intervenido (117,839 m<sup>3</sup>/ha) con estado de conservación regular.

**Palabras claves:** volumen de agua, conservación de bosques, bosques amazónicos.

## ABSTRACT

The objective of the research is to demonstrate the variation between the volume of water stored in trees and its contribution to the conservation of Amazonian forests. The population was made up of trees with DAP  $\geq 10$ cm in 32 ha, distributed in high dry rod forests, high humid rods, intervened Arboretum el Huayo and primary forest of the Allpahuayo Mishana-RNAM National Reserve. The volume of water per tree was obtained using the formula for the difference of the total volume of the tree in the fresh state minus the volume of tree biomass. To define the state of forest conservation, values obtained from thirteen indicators were weighted: good, regular and bad. The results indicate a significant statistical difference in the volume of water in trees from the forests studied ( $F_c=7.551$ ,  $p= 0.0007$ ). There is greater variability in water volume in the upper and lower strata and less variability in the middle stratum. There is high variability of species and families in forests: high humid rodal (179 sp., 35 fam.), high dry rodal (130 sp, 35 fam.); intervened forest (131 esp., 32 fam); and primary forest (245 sp, 42 fam.). There is a direct relationship between the volume of water stored in trees and their contribution to conserving Amazonian forests: RNAM greater volume of water (200,984m<sup>3</sup>/ha) with good conservation status; high humid ridge (116,212m<sup>3</sup>/ha), high dry ridge (117,640m<sup>3</sup>/ha) and intervened forest (117,839 m<sup>3</sup>/ha) with a fair state of conservation.

**Keywords:** volume of water, forest conservation, Amazonian forests.

## RESUMO

O objetivo da pesquisa é demonstrar a variação entre o volume de água armazenado nas árvores e sua contribuição para a conservação das florestas amazônicas. A população era composta por árvores com DAP  $\geq 10$ cm em 32 ha, distribuídas em florestas altas de haste seca, hastes altas úmidas, intervenientes Arboretum el Huayo e floresta primária da Reserva Nacional Allpahuayo Mishana-RNAM. O volume de água por árvore foi obtido pela fórmula da diferença entre o volume total da árvore no estado fresco menos o volume de biomassa da árvore. Para definir o estado de conservação da floresta foram ponderados valores obtidos de treze indicadores: bom, regular e ruim. Os resultados indicam uma diferença estatística significativa no volume de água nas árvores das florestas estudadas ( $F_c=7.551$ ,  $p= 0.0007$ ). Há maior variabilidade no volume de água nos estratos superiores e inferiores e menor variabilidade no estrato médio. Há grande variabilidade de espécies e famílias nas florestas: rodal alto úmido (179 sp., 35 fam.), rodal alto seco (130 sp, 35 fam.); floresta intervencionada (131 esp., 32 fam); e floresta primária (245 sp, 42 fam.). Existe uma relação direta entre o volume de água armazenado nas árvores e sua contribuição para a conservação das florestas amazônicas: RNAM maior volume de água ( $200.984\text{m}^3/\text{ha}$ ) com bom estado de conservação; cume alto úmido ( $116.212\text{m}^3/\text{ha}$ ), cume alto seco ( $117.640\text{m}^3/\text{ha}$ ) e mata intervencionada ( $117.839\text{ m}^3/\text{ha}$ ) em bom estado de conservação.

**Palavras-chave:** volume de água, conservação florestal, florestas amazônicas.

## INTRODUCCIÓN

“Los bosques tropicales del mundo se encuentran distribuidos en 65 países, y cubre aproximadamente 1,66 billones de ha” Blaser et al. (1) citado por De Oñate (2 p8). “Estos bosques desempeñan importantes funciones ecológicas y socioeconómicas como la protección de las cuencas hidrográficas, la regulación del clima mundial, la amortiguación de desastres naturales y la conservación de la diversidad biológica”, (3) (4) (5) entre otros, citados por (2 p8). “Los bosques amazónicos se constituyen en parte integral del sistema climático global, por la alta tasa de reciclaje de la lluvia que se da a través de la transpiración de los árboles y la biodiversidad. Sin embargo, la división de la precipitación en evaporación, transpiración y escorrentía se ha cuantificado solo en unos pocos sitios” (6 p47)

“Los cambios climáticos se vienen dando en las últimas décadas, en forma alarmante, y hasta la fecha, no se cuenta con mayor información del conocimiento y monitoreo de las respuestas a estos cambios atmosféricos en lo referente al dinamismo de los grandes árboles tropicales” (7 p549). En esta línea, también se observa “escasez de información sobre la variación de la densidad de la madera tanto dentro como entre especies con otras historias de funciones de vida (8) (9)”, citados por (10 p191), como con “la altura máxima (asintótica) de la planta, el tamaño del diámetro del árbol y la tasa de crecimiento, el contenido de agua del árbol (capacidad de almacenamiento) y supervivencia” (10 p191).

En un estudio de investigación de variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus gregii Engelm*, realizado por (11), obtuvieron como resultados que, “el 13% de la densidad, es atribuible a diferencias entre población, el 24% a diferencias entre árboles dentro de poblaciones y el 63% al error aleatorio, por lo que se puede seleccionar a nivel de población y entre árboles dentro de la población” (p43). “Los bosques tropicales húmedos se caracterizan por su riqueza en especies arbóreas, donde la presencia de una flora arbórea tan diversa presenta problemas potenciales para ampliar las estimaciones del uso de agua, desde árboles individuales hasta rodales enteros y para hacer generalizaciones sobre la regulación fisiológica del uso

del agua en árboles tropicales” (12 p19), información que falta ser más investigada.

Se vienen desarrollando diversas investigaciones en torno a los bosques amazónicos como: “las características, inventarios, interrelaciones, propiedades biofísicas de la madera, la dinámica de la descarga y el relleno del almacenamiento de agua en el tronco del dosel de especies arbóreas de diversa historia de vida y rasgos funcionales en los bosques subtropicales del noreste argentino”, desarrollado por (13 p354); así como “estudios de las características de cambio del contenido de agua del tallo-(StWC) en la planta y su respuesta a los factores ambientales” (14 p1), entre otros.

Martinez et al. (15) indican que: “el escenario de un clima cambiante nos plantea el desafío de abordar el estudio conjunto de las propiedades físicas, químicas, mecánicas e hidráulicas de la madera de manera interdisciplinaria”. Pero que también es necesario “considerar a la madera como una herramienta, para estudiar los procesos de adaptación de los árboles al cambio climático, y permitiría ensayar prospecciones sobre la cantidad y calidad de madera” (p8).

“Los bosques tropicales, brindan beneficios a las poblaciones humanas: componentes abióticos y bióticos de los ecosistemas así como de las interacciones, entre ellos” (16) y (17) citados por (18 p136) “Estos bosques juegan un papel importante en la regulación del clima a través de sus efectos en la temperatura y en la humedad relativa; liberan agua para el intercambio gaseoso al realizar la fotosíntesis y, durante este proceso ocurren intercambios de energía, así como cambios en la humedad relativa que conducen a reducciones en la temperatura” (19) citado por (18 p138). “Se viene trabajando en la valoración de los bosques por los servicios ambientales que brindan (captura de dióxido de carbono, calidad del agua), conservación de la diversidad biológica, oportunidad de recreación” (20 p17). Cejudo (21) indica que, “la Amazonia ha perdido una quinta parte de su área forestal, lo que puede reducir la lluvia en la temporada de sequías hasta en un 21% para el año 2050” (p10). Gaviria (22) afirma que, “el manejo del bosque secundario podrá estimular la conservación de la diversidad biológica, al disminuir la presión sobre el bosque primario, en la lucha de la población por obtener los bienes y servicios útiles que estas zonas boscosas proveen” (p65). “El

metabolismo y fenología de las selvas amazónicas influyen significativamente en la dinámica global del clima, el carbono y agua, y pese a ello, aún siguen siendo poco conocidos y estudiados” (23 p1).

“Los ciclos del agua y el carbono están fuertemente coordinados y la disponibilidad de agua es el principal factor limitante en muchos ecosistemas terrestres, donde la fotosíntesis requiere suficiente suministro de agua para permisos y restricciones en la entrega en cualquier punto hidráulico. De allí que, el maximizar el transporte de agua mejora la asimilación y puede proporcionar a las plantas una ventaja competitiva” (24 p188). “La comprensión de estos mecanismos y rasgos son importantes para conocer la respuesta de los ecosistemas a los cambios climáticos o a la expansión de las actividades humanas y el uso de la tierra” (24 p208).

Kaplick *et al.* (25) manifiestan que,

“Las raíces, tallos, ramas y hojas sirven como compartimentos de almacenamiento de agua a lo largo de la vía del agua” (26), lo que contribuye a la economía del agua y carbono de los árboles (27). “El uso de agua almacenada permite desacoplamiento transitorio del estado hídrico de la hoja, de la resistencia hidráulica y de la vía de transporte” (28). “La descarga de agua en la corriente de transpiración puede amortiguar las fluctuaciones diarias de tensión de la xilema, lo que reduce el riesgo de embolia del xilema y la falla dinámica de la hidráulica” (29) (30). “La capacitancia de albura y uso de almacenamiento el agua aumenta con el mayor tamaño de los árboles” (27) (30) (p59).

Cejudo (21), manifiesta que,

“Los árboles después de una lluvia absorben el agua del suelo, de la cual una parte se utiliza en la fotosíntesis, otra parte se queda guardada en el tronco (u otras partes del árbol) y otra transpira hacia la atmósfera por medio de poros que se encuentran en las hojas llamados estomas. [...] En los trópicos, los bosques tienen un efecto neto de enfriamiento, es decir, la temperatura del bosque y su región se mantienen por debajo de la que se observa en zonas sin áreas forestales o deforestadas. Un buen ejemplo, que ustedes tal vez ya hayan vivido, es el aumento de la temperatura en las ciudades a causa de la disminución o carencia de arbolado. Es evidente que, a falta de árboles en la ciudad, la temperatura aumenta” (p7).

Liang et al. (14) resume los resultados de un grupo de investigadores indicando que,

“Un buen conocimiento de la capacidad de contenido de agua en el tallo-StWC, contribuye a resolver los puntos críticos de la investigación forestal, como la resistencia al frío (31), resistencia a la sequía (32) y evaluación de la salud (33) (p1). Asimismo, (34) mencionado por (14) manifiesta que, dominar con precisión las características de StWC y su mecanismo de acoplamiento ambiental es de gran importancia para formular un sistema de riego razonable y hacer un uso eficiente de los recursos hídricos” (p1).

Es así que, se tiene claridad de la importancia de los bosques amazónicos frente a estudios realizados, considerando el cambio climático y la escasez del agua en varios países donde el mayor culpable es el hombre, al desarrollar actividades que atentan contra nuestro ambiente y por ende nuestra vida. La escasa investigación sobre la importancia de los árboles en cuanto a la capacidad de almacenamiento que tienen éstos y su relación con otros elementos, factores internos y externos, especialmente su interacción con la evapotranspiración y el ciclo hidrológico en los bosques, es lo que nos da una alerta de cuánta investigación nos falta realizar para entender el funcionamiento de nuestros complejos ecosistemas, la diversidad biológica y su conservación.

Al tener los bosques un desempeño relevante en el clima, debe hacernos entender lo valiosos que son y para ello se debe recordar que, el poder de los bosques sobre el agua y el clima depende de la transpiración de las hojas de los árboles, la producción de VOCs y los sistemas de baja presión (bomba biótica) que se generan en consecuencia. La ciencia, el manejo forestal y los beneficios que se obtienen de los bosques van siempre de la mano y conocer el funcionamiento de los bosques ayudará a mejorar la forma en la que se gestionen, su composición natural y, a obtener el máximo beneficio de éstos. Ahora bien, las tareas a realizar para cada una de las personas serán las de: respetar, reconocer y apoyar la labor científica, conocer nuestros bosques, protegerlos y aprender a ser consumidores responsables de los productos y servicios que ellos nos otorgan.

Este trabajo cubre una parte de los estudios que aún faltan investigar a profundidad en los bosques amazónicos. Para poder realizar este estudio, se

contó con el permiso de la Facultad de Ciencias Forestales para utilizar los datos obtenidos en el inventario forestal del año 2020 realizado en diferentes tipos de bosques de nuestra Amazonía; datos que se encuentran registrados en fichas de campo y electrónicamente.

En base a estos datos se realizaron los análisis correspondientes para ver la idoneidad de la información en principio y luego procesar los resultados en base a fórmulas y programas que permitió obtener en principio, el volumen de agua por cada árbol individual utilizando el método indirecto; para luego definir los estratos del bosque utilizando el método de Lamprecht (35). Toda la información se procesó utilizando la opción de tablas y gráficos dinámicos generados con el software Excel 13 y SPSS versión 25. Asimismo, para poder evaluar el estado de conservación de los bosques amazónicos, se utilizaron trece indicadores con la finalidad de conocer las capacidades que poseen para cumplir funciones ecológicas claves (36) y (37).

El presente estudio responde a la pregunta de ¿Cuánto es el volumen de agua almacenada en los árboles y cuál es su contribución a la conservación de los bosques de la amazonia peruana? Y tiene como objetivo general, determinar el volumen de agua almacenada en los árboles y su contribución a la conservación de los bosques de la amazonia peruana; y los objetivos específicos fueron: Analizar la variabilidad en el almacenamiento de agua en diferentes tipos de bosques amazónicos. Evaluar el volumen de agua contenido en la madera y en diferentes estratos del dosel en estos bosques. Identificar las especies arbóreas clave que contribuyen significativamente al ciclo del agua en los bosques. Cuantificar cómo la diversidad de especies influye en la contribución al volumen de agua y la conservación de estos ecosistemas.

## CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

### 1.1 Antecedentes

Phillips et al. (38) mencionan que,

“Los bosques tropicales de la Amazonía constituyen uno de los ecosistemas más importantes de la tierra. Éstos reúnen aproximadamente el 45% de los bosques tropicales del mundo, almacenan alrededor de una quinta parte del carbono que existe en la vegetación terrestre [...]; contribuyen a la evapotranspiración de la superficie terrestre global y reúne una fracción significativa de especies conocidas a nivel mundial” (p2).

“Los bosques húmedos tropicales primarios o maduros, especialmente aquellos de tierras bajas, constituyen una fuente importante de bienes y servicios para el hombre y para evitar su reducción se deben mejorar las técnicas de manejo sostenibles de este recurso” (22 p161).

En referencia a la dinámica de los bosques y los aportes al ambiente, Cejudo (21) afirma que,

“Los bosques también segregan sustancias conocidas como compuestos orgánicos volátiles-VOCs de todo tipo, tanto dentro de su estructura como fuera de esta, [...]. En los bosques tropicales, estas moléculas tras ser expulsadas por los árboles hacia la atmósfera, funcionan como imanes para las moléculas de agua que se encuentran suspendidas en el aire, las que al condensarse cada vez más y más, formarán nubes y después lluvia. Es decir, ¡sin estos compuestos habría menos lluvia!” (p8).

“La desaparición de los bosques primarios hace que los bosques secundarios se conviertan en una alternativa de desarrollo forestal, y serán los únicos tipos de bosque existentes en el mundo tropical que proporcionarán un alivio en las emisiones de carbono sobre la atmósfera” (39 p39). “Son importantes para conservar la diversidad biológica al disminuir la presión existente sobre el bosque primario húmedo tropical.; que los hacen valiosos para la comunidad al

ofrecerles muchos otros bienes y servicios, incluyendo la madera” (22 p159)

Una de las condiciones básicas para el crecimiento arbóreo es la asimilación de CO<sub>2</sub> que tiene lugar en la copa y que, según (38 p66) “se encuentra ligada con la transpiración de manera directa y considera que, a causa de dicha asimilación se mantiene el flujo de savia vertical que garantiza que el agua y los nutrientes lleguen a las hojas”.

En estudios en pino silvestre, *Pinus sylvestris* L. (41) muestran que “del 30 al 50% del agua transpirada se puede suministrar en cortos períodos de tiempo con agua almacenados dentro de la albura” (p809).

Martínez et al. (15) manifiestan que,

“Una disminución de la densidad de madera puede ser favorable en términos adaptativos frente a un evento climático extremo, pero que también puede ser desfavorable, al aumentar la vulnerabilidad de las especies ante el estrés, de acuerdo con la respuesta de los mecanismos fisiológicos. [...]. Frente a sequías extremas, se demuestran que los árboles dominantes, de mayor crecimiento, son los que presentan una mayor susceptibilidad y más resilientes ante condiciones de sequía moderada. Lo que demuestra la complejidad de procesos y diferencias entre especies, y la importancia de diferenciar el tipo de evento de sequía, su duración e intensidad” (p7)

Tamartit-Urias (42) manifiesta que,

“La cantidad de agua para el parámetro del máximo contenido de humedad-MCH está limitada por el volumen o espacio vacío, es decir, por el espacio no ocupado por la sustancia de la pared celular, extractivos y componentes inorgánicos. El rango de variación y comportamiento encontrado para este parámetro coincide con lo señalado por (43) y (44) quienes reportan un rango del MCH de 44 % para maderas pesadas nativas de USA con densidad de 0,90 g-cm<sup>-3</sup> a 267 % para maderas ligeras con densidad de 0,30 g-cm<sup>-3</sup>; sin embargo, indican que *Krugiodendron ferrum* (Vahl) Urban con una densidad de 1,18 alcanza un MCH de 26 % y en contraste *Ochroma lagopus* Sw. con una densidad de 0,2 puede llegar a presentar 400 % o más de MCH” (p161).

“La ubicación de los compartimentos de almacenamiento de agua y el grado de conexión hidráulica entre el agua almacenada y el xilema pueden influir sustancialmente en el equilibrio hídrico de la hoja y, por lo tanto, la medida en que los estomas pueden limitar la ganancia de carbono de la planta” (45 p99).

Los resultados de investigaciones de especies arbóreas que crecen en dos sitios con diferentes precipitaciones indican que “la capacidad fotosintética e hidráulica son altamente interdependientes; en la que especies con menor capacidad fotosintética e hidráulica también tienen madera más densa; mostrando evidencia de una mayor eficiencia en el uso del agua y; la comprensión del árbol hidráulico, proporciona información adicional a la arquitectura” (46 p548).

Köcher et al. (47) indican que,

“Los depósitos internos de agua desempeñan un papel importante en árboles en diferentes zonas templadas; donde el almacenamiento de agua en los tallos de los árboles mejora el equilibrio hídrico en períodos húmedos, mientras es de escasa relevancia en períodos secos y en especies de porosidad anular. [...] de allí que la importancia funcional del almacenamiento interno en árboles aumente en el futuro” (p830).

“La descarga de agua de tallos y ramas juega un papel importante en *A. australis* como fuente intermedia de agua a diario, observándose que, durante los períodos de sequías, el agua del almacenamiento ayuda a mantener las tasas de transpiración” (25 p64). Asimismo, Oliva Carrasco et al. (13) indican que, “el almacenamiento interno de agua en los árboles juega un papel importante en la economía hídrica de los árboles actuando como fuente de agua intermediaria para la transpiración de las hojas” (p355).

## **1.2. Bases teóricas**

El estudio del agua almacenada en los árboles y su contribución a la conservación de los bosques se desarrolla bajo el enfoque filosófico ecosistémico, pues los diferentes tipos de bosques existentes en nuestra amazonia muestran atributos e indicadores (48 p13), resaltando 13

indicadores, la regeneración natural, la abundancia relativa de familias indicadoras, abundancia relativa de familias indicadoras, cobertura forestal, fauna, entre otras (37 p2); donde cada indicador constituye un subsistema del bosque que es analizada bajo la premisa de la teoría general de sistemas. Entendiéndose ésta como sistemas que se interrelacionan entre sí mostrando procesos sistémicos internos, fuertemente estructurados (48 p15) pero que son interferidos por las actividades antrópicas en diferentes medidas. Todo ello invita a pensar, lo que ya en su momento Aristóteles dijo: “el todo es más que la suma de las partes” pues todavía queda mucho por conocer y entender “cómo funcionan estos sistemas, los mismos que son los más difíciles de observar y entender sus comportamientos dentro de un contexto globalizado de la misma naturaleza” (49 p114).

La teoría general de sistemas permite entender claramente el funcionamiento de los ecosistemas, es así que Morin (50) mencionado por Flórez (49) indica que, “el fenómeno que nosotros llamamos naturaleza no es más que esta extraordinaria solidaridad de sistemas encajonados edificándose los unos sobre los otros, por los otros, con los otros y contra los otros: La naturaleza son los sistemas de sistemas, en rosario, en racimos, en pólipos, en matorrales, en archipiélagos” (p 119); en cambio Rosnay (51) define el sistema como un “conjunto de elementos en interacción dinámica organizados jerárquicamente en función de un fin” (p119). Donde, Flórez (49) afirma que, “los conceptos fundamentales que definen un sistema, son la interacción, la globalidad, la organización y la complejidad” (p120) y que “las relaciones entre el todo y las partes, y las partes y el todo son las que garantizan la unidad en la diversidad, donde las emergencias y los constreñimientos garantizan este equilibrio” (p122); mientras que Ranzinkov (52) define al sistema como el “conjunto de elementos que tienen relaciones y conexiones entre sí, y que forman una determinada integridad, unidad» (p 395); y Martínez (53) nos dice que “la Teoría General de Sistemas es una herramienta de análisis, porque va de lo complejo a lo simple, del todo a las partes; podemos inferir que el enfoque de sistemas es un elemento de síntesis ya que va de lo simple a lo complejo, de las partes

al todo” (p 23). Arnold (54) define a la teoría general de sistemas como “una forma sistemática y científica de aproximación y representación de la realidad y, al mismo tiempo, como una orientación hacia una práctica estimulante para formas de trabajo transdisciplinarias” y que, “la TGS se caracteriza por su perspectiva holística e integradora, en donde lo importante son las relaciones y los conjuntos que a partir de ellas emergen.

Kunert et al. (6) proporcionan evidencias para tres diferentes teorías:

“Primero, la **"teoría de la convergencia"** (12). En determinadas condiciones ambientales, el tamaño de los árboles es el factor regulador de transpiración más importante de los árboles en los bosques tropicales maduros. Segundo, **"teoría del reciclaje de lluvia"** confirman que los bosques tropicales húmedos devuelven activamente alrededor del 37% de la lluvia a la atmósfera. Tercero, además de factores como la presión de los herbívoros de la hoja inferior y la necesidad de brotar nuevas hojas "limpias" sin epífitas, la baja cobertura de nubes y una mayor demanda de evaporación de la atmósfera, podrían haber sido el detonante de factores evolutivos para la evolución del **"enverdecimiento"** en la Amazonía durante la estación seca, ya que esas condiciones favorecen una alta asimilación y tasas de transpiración. Destacan la importancia hidrológica de los árboles grandes en los ecosistemas de bosques húmedos tropicales al ser responsables de transpirar grandes cantidades de agua de regreso a la atmósfera y también, son los árboles más vulnerables en los bosques, ya que podrían ser los árboles con mayor probabilidad de verse afectados por falla hidráulica en situaciones de estrés hídrico severo” (p56)

“La metodología TDR no es destructiva, es rápida, automatizable, y las mediciones son repetibles. Aunque es una técnica muy empleada en la estimación del contenido de agua en los suelos, para la medición del contenido hídrico de los árboles aún se debe avanzar más. El desarrollo de esta técnica empleada en árboles tendría diversas aplicaciones en diferentes ámbitos como la hidrología, la fisiología vegetal o la agronomía entre otros” (55 p100). “El uso de esta técnica

bastante nueva podría abrir nuevas oportunidades para el análisis de los cambios estacionales en el xilema, contenido de agua y podría proporcionar una mejor comprensión de la ocurrencia y la importancia ecológica del xilema embolia en coníferas” (56 p817).

Phillips, et al. (38) indican que, “para minimizar los errores causados por la variación del contenido de agua en los troncos de los árboles entre mediciones sucesivas, las parcelas deben ser medidas en intervalos durante el año y en épocas del año cuando hay una menor variación interanual en la disponibilidad de agua en suelo” (p4).

Según (56) en referencia a la teoría de la cohesión del transporte por agua, afirman que “el agua dentro del xilema de los tallos de las plantas ejerce una tensión considerable cuando se produce la transpiración” (p813).

Osunkoya et al. (10) refieren que “la densidad de la madera, es un rasgo que está altamente correlacionado con la densidad de carbono por unidad de volumen, (9) y es de importancia para estimar el almacenamiento y los flujos de carbono del ecosistema (57) (58) (59)” (p191).

“La capacidad y tiempo de almacenamiento de agua depende principalmente del volumen y la disponibilidad de agua en los compartimentos del almacenamiento y la capacitancia depende de propiedades intrínsecas como la densidad de la madera o anatomía de la madera; donde la densidad y capacitancia de la madera tienden a tener una relación negativa” (13). “El agua almacenada dentro de los tejidos leñosos de los árboles forestales ha sido visto como un reservorio del cual se puede extraer agua para amortiguar las demandas de evaporación de un dosel vegetal transpirante (60)” citado por (41). “El almacenamiento de agua en el tallo es importante ya que gracias a ellos se puede amortiguar la absorción de agua de la raíz durante las restricciones de agua.; encontrando que, la reducida disponibilidad de agua durante el día fue amortiguada por el agua del tallo, que se llenó durante la noche” (61 p363).

“La relación entre la capacidad de almacenamiento de agua del tallo y las propiedades hidráulicas de la planta, se espera que desempeñen

un papel importante en el control del equilibrio hídrico de la planta en entornos con escasez de agua” (45 p100).

“Generalmente, la mayor cantidad de espacios vacíos en la madera de angiospermas está representada por los vasos y ésta ejerce una fuerte influencia sobre los valores de densidad o peso específico. Características tales como diámetro, frecuencia, distribución (porosidad) y proporción de vasos pueden jugar un papel importante dentro de la densidad o peso específico” (62 p72)

“Los componentes de la vía de transporte de agua de los árboles; raíces, troncos, ramas y hojas; pueden servir como compartimentos de almacenamiento de agua y por lo tanto actuar transitoriamente como fuentes intermedias de agua para las hojas que transpiran” (30 p342). “La dinámica diurna de utilización y recarga de almacenamiento del agua se refleja en cambios dimensionales en los tejidos del tallo y, en época de lluvias, el diámetro del tallo se recupera durante la noche y, en época seca, el tallo no se rehidrata completamente durante la noche” (63 p478). “El parénquima exterior y la albura son importantes como compartimentos de almacenamiento de agua, hidráulicamente están bien conectados entre sí y con una resistencia radial relativamente baja al flujo de agua” (63 p479).

Tamarit-Urias (42) indica que,

“El contenido de humedad en árboles vivos puede variar entre 30 y más del 200 % (43), tal variación está en función de la especie, condiciones de crecimiento y densidad básica de su madera”. Donde, “la variación de la densidad de la madera entre diferentes especies se debe principalmente a factores tales como calidad de sitio, clima, altitud, latitud, composición y espaciamiento de especies en el bosque, de tal forma que la disponibilidad de humedad, luz, nutrientes y el efecto del viento y la temperatura influyen en el tamaño y espesor de la pared celular y por tanto afectan su densidad” (p156).

“La dependencia del agua almacenada para reemplazar temporalmente las pérdidas por transpiración es uno de los mecanismos homeostáticos que limitan la magnitud de los déficits de agua de las hojas en árboles del cerrado” (63 p469).

### 1.3. Definición de términos básicos.

**Madera.** “Es un tejido biológico compuesto de células o traqueidas, y de paredes compuestas de lignina. Las traqueidas son vías de conducción, algo así como canales estrechos repletos de agua, que transportan la savia a lo largo del tronco” (64 p2). También se define la madera como un “material higroscópico, ya que tiene la propiedad de aumentar o disminuir su contenido de humedad en relación directa con los cambios de humedad relativa, es anisotrópica porque sus cambios dimensionales son diferentes según sea la dirección tangencial, radial o longitudinal. Sus propiedades son afectadas debido a cambios en su contenido de humedad” (42 p155).

**Tallo.** “Es uno de los dos ejes estructurales principales del sistema vascular, de la planta, que desempeña una variedad de funciones en ellas, como soporte mecánico de hojas, flores y frutos, transporte de agua entre la raíz y los brotes en el xilema y el floema, y almacenamiento de agua” (14 p1).

**Bosques primarios.** Se definen como “bosques vírgenes o bosques poco afectados y solamente de forma temporal por factores antropógenos” (35) citado por (20). “Una función importante de los bosques primarios es la conservación de la biodiversidad, debido a la alta cantidad de flora y fauna que dependen del equilibrio de sus ecosistemas” (20 p12).

**Bosques secundarios.** Se definen como el “crecimiento forestal que se produce naturalmente después de un disturbio, perturbación al ecosistema o modificación drástica del bosque, causada por catástrofes naturales o por intervención humana” (20 p13). También se lo define como “aquel bosque que se ha regenerado de manera natural después de una importante perturbación de origen natural o antrópico de la vegetación forestal originaria” (65 p33).

**Densidad de la madera.** Se define como el “cociente entre la masa del material seco con estufa, dividido por la masa del agua desplazada y por su volumen verde (gravidad específica de madera o GSM, WSG en inglés). Este valor requiere de mediciones del peso de la madera seca, combinado con mediciones del volumen verde” (64 p2).

**Biomasa.** “Es la masa de organismos vivos por unidad de superficie, es un indicador de productividad y se diferencia en biomasa aérea y biomasa subterránea” (66 p81).

**Contenido de humedad de la madera.** “Convencionalmente, el contenido de humedad (CH) se define como la relación porcentual del peso del agua contenida en la madera, respecto al peso seco (libre de humedad) de la madera” (67 p3).

**Área basal.** “Es el área de cualquier sección transversal del fuste del árbol. La que más se usa en dasometría es el área calculada a base del DAP. O sea, el área que tiene el fuste en la sección transversal a 1,30m del suelo” (68 p11).

**Bosques de varillales.** “Son bosques que crecen sobre suelos de arena blanca. Tienen una alta densidad (cantidad) de árboles y arbustos, que en su mayoría son muy delgados y de baja estatura, donde escasean las sogas y las hierbas” (69 p5) y; (70) lo definen como “aquellas comunidades vegetales que presentan una composición florística muy peculiar, endémica, mono dominante y poco diversa” (p26).

**Ambiente.** “Se refiere al área de sucesos y condiciones que influyen sobre el comportamiento de un sistema. En lo que a complejidad se refiere, nunca un sistema puede igualarse con el ambiente y seguir conservando su identidad como sistema. La única posibilidad de relación entre un sistema y su ambiente implica que el primero debe absorber selectivamente aspectos de éste. Sin embargo, esta estrategia tiene la desventaja de especializar la selectividad del sistema respecto a su

ambiente, lo que disminuye su capacidad de reacción frente a los cambios externos. Esto último incide directamente en la aparición o desaparición de sistemas abiertos". (54 p5).

**Atributo.** Se entiende por atributo las características y propiedades estructurales o funcionales que caracterizan las partes o componentes de un Sistema (54 p6).

**Complejidad.** Por un lado, indica la cantidad de elementos de un sistema (complejidad cuantitativa) y, por el otro, sus potenciales interacciones (conectividad) y el número de estados posibles que se producen a través de éstos (variedad, variabilidad). La complejidad sistémica está en directa proporción con su variedad y variabilidad, por lo tanto, es siempre una medida comparativa. Una versión más sofisticada de la TGS se funda en las nociones de diferencia de complejidad y variedad. (54 p6).

**Conglomerado.** Cuando la suma de las partes, componentes y atributos en un conjunto es igual al todo, estamos en presencia de una totalidad desprovista de sinergia, es decir, de un conglomerado (71 p6).

**Equifinalidad.** Se refiere al hecho que un sistema vivo a partir de distintas condiciones iniciales y por distintos caminos llega a un mismo estado final. El fin se refiere a la mantención de un estado de equilibrio fluyente. "Puede alcanzarse el mismo estado final, la misma meta, partiendo de diferentes condiciones iniciales y siguiendo distintos itinerarios en los procesos orgánicos" (72). El proceso inverso se denomina multifinalidad, es decir, "condiciones iniciales similares pueden llevar a estados finales diferentes" (73) (54 p7).

**Equilibrio.** Los estados de equilibrios sistémicos pueden ser alcanzados en los sistemas abiertos por diversos caminos, esto se denomina equifinalidad y multifinalidad. La mantención del equilibrio en sistemas abiertos implica necesariamente la importación de recursos provenientes

del ambiente. Estos recursos pueden consistir en flujos energéticos, materiales o informativos (54 p7).

**Sistemas abiertos.** Se trata de sistemas que importan y procesan elementos (energía, materia, información) de sus ambientes y esta es una característica propia de todos los sistemas vivos. Que un sistema sea abierto significa que establece intercambios permanentes con su ambiente, intercambios que determinan su equilibrio, capacidad reproductiva o continuidad, es decir, su viabilidad (entropía negativa, teleología, morfogénesis, equifinalidad) (54 p11).

**Subsistema.** Se entiende por subsistemas a conjuntos de elementos y relaciones que responden a estructuras y funciones especializadas dentro de un sistema mayor. En términos generales, los subsistemas tienen las mismas propiedades que los sistemas (sinergia) y su delimitación es relativa a la posición del observador de sistemas y al modelo que tenga de éstos. Desde este ángulo se puede hablar de subsistemas, sistemas o supersistemas, en tanto éstos posean las características sistémicas (sinergia)(54 p11).

## CAPÍTULO II: VARIABLES E HIPÓTESIS

### 2.1. Variables y su operacionalización

La madera cumple funciones de transporte y almacenamiento de agua, nutrientes y carbohidratos, fundamentales para la sobrevivencia de las especies leñosas frente a variaciones del ambiente. La densidad de la madera, una propiedad emergente de las características anatómicas (proporción de lúmenes y paredes celulares), se relaciona con la capacidad de conducción de agua en la xilema, siendo una variable clave en la arquitectura hidráulica de la planta. (15 p2).

**Volumen de agua.** - Es la cantidad de agua existente en la madera en estado verde y se tiene como indicador:  $m^3 / ha / sp$ ; donde:

$m^3$	=	metro cúbico
ha	=	hectárea
sp.	=	especie

**Tipo de bosque.** - Para el caso del presente estudio se han considerado trabajar en tres tipos de bosques:

- ❖ **Bosques primarios:** son aquellos bosques que son completamente naturales; bosques donde el ser humano no ha intervenido en ellos o su intervención ha sido mínima por lo que no resulta relevante el impacto que pueda causar en la conservación de su biodiversidad.
- ❖ **Bosques secundarios:** son aquellos bosques donde el hombre ha intervenido para aprovechar sus recursos naturales, y se encuentran en proceso de recuperación de sus recursos en forma natural
- ❖ **Bosques de varillales:** son los bosques que crecen sobre suelos de arena blanca, poseen una alta densidad de árboles y arbustos delgados, de baja estatura y no se observan sogas y hierbas.
- ❖ **Estrato boscoso.** - Se refiere a la distribución vertical que presentan las especies vegetales en un bosque y están determinadas por el tamaño y tipo de vida de los mismos. Para ello, se consideran como indicadores:

- ❖ **Dosel superior;** son los árboles grandes que forman el estrato más alto
- ❖ **Dosel medio;** se encuentran los arbustos junto con algunas hierbas.
- ❖ **Sub dosel;** son aquellas plantas herbáceas, que se encuentran cerca del suelo y forman el estrato más pequeño, llamado rastrero.

### **Estado de conservación.**

Se obtiene de la ponderación de los valores de las características obtenidas en cada uno de los trece indicadores que se describen en el anexo 18.

Los estados de conservación del bosque son: bueno, regular y malo.

## **2.2 Formulación de la hipótesis**

### **Hipótesis general**

Hay diferencias significativas en el volumen de agua almacenada entre diferentes tipos de bosques dentro de la Amazonia peruana.

## CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

### 3.1. Tipo y diseño de la Investigación

Este estudio es de tipo cuantitativo, con un nivel de investigación descriptivo, y se basa en un diseño de investigación transversal para analizar la relación entre la diversidad de especies y el volumen de agua en los bosques amazónicos estudiados.

### 3.2. Población y muestra

El diseño usado fue el muestreo al azar en cada tipo de bosque

#### **Población de estudio**

La población del estudio estuvo constituida por todos los árboles de especies forestales con un DAP  $\geq$  a 10cm que se encuentran en los siguientes bosques:

- ❖ En el bosque intervenido Arboretum el Huayo, la población de estudio estuvo constituida por 20 ha.
- ❖ En el bosque primario de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana-RNAM del km 28 de la carretera Iquitos Nauta, la población de estudios estuvo constituida por una superficie de 32 ha.
- ❖ En el bosque de varillal alto húmedo, bosque adyacente al Arboretum, la población de estudio estuvo constituida por una superficie de 8 ha.
- ❖ En el bosque de varillal alto seco del km 31 de la carretera Iquitos Nauta, la población de estudio estuvo constituida por tres ha.

#### **Tamaño de la muestra de estudio**

Para definir el tamaño de muestra se empleó la siguiente fórmula (36 p15):

$$n = \frac{CV^2 t^2}{E^2}$$

#### **Donde:**

n = número de unidades requeridas

E = error de muestreo deseado =10%

t = valor de student al 95% del nivel de probabilidad 1,96

CV = coeficiente de variabilidad de todos los bosques fue de 34%

“El tamaño de muestra calculado fue de 23 fajas y se decidió usar un tamaño de muestra de 32 fajas para disminuir el error permitido que es expresado como el porcentaje de desviación aceptable para el atributo volumen de agua por ha.

### **Tipo de muestreo y procedimiento de selección de la muestra**

Las unidades muestrales por cada tipo de bosque fueron seleccionadas utilizando el método de muestreo al azar simple.

### **Criterios de selección**

El criterio de selección estuvo definido por el tipo de bosque, solo se incluyeron, las fajas que correspondan a un bosque primario, bosque intervenido y varillal alto húmedo o alto seco.

**Tabla 1. Número de repeticiones por tipo de bosques.**

<b>Tipo de bosque</b>	<b>Repeticiones</b>	<b>Área(m<sup>2</sup>) / repetición</b>	<b>Área total (m<sup>2</sup>)</b>
Varillal alto húmedo	8	1 000	8 000
Bosque intervenido	8	1 000	8 000
Arboretum el Huayo			
Varillal alto seco	8	1 000	8 000
Bosque primario RNAM	8	1 000	8 000
Total	32		32 000

### **3.3. Técnicas e instrumentos**

Se usaron los datos del inventario forestal generados en el proyecto “Crecimiento, mortalidad, reclutamiento y flujos de carbono del bosque tropical del año 2020”, ejecutado por la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, debidamente validados y limpiados mediante el uso de filtros de la base de datos con el software Excel 13, cuya estructura del instrumento se muestra en el anexo 16, donde se consigna básicamente el número de la faja, número del árbol, faja, clase diamétrica, nombre común, nombre científico, familia, DAP, altura total,

tipo de bosque, estrato del bosque, área basal, volumen, densidad básica, biomasa y volumen de agua.

### 3.4. Procedimientos de recolección de datos

- ❖ Obtención de la base de datos correspondientes a los bosques primarios, intervenidos y varillales, cuyo inventario fue realizado en el año 2020
- ❖ Se hizo la limpieza de la base de datos para verificar, aplicando el criterio de inclusión de los árboles en la base de datos, que correspondían a los árboles con DAP  $\geq$  a 10 cm
- ❖ Se completó y corrigieron los datos faltantes en la base de datos del inventario forestal que correspondían a la altura y al diámetro, utilizando fórmulas de correlación a nivel de la especie en el que se produjo el dato faltante
- ❖ Se procedió a seleccionar en forma aleatoria las unidades muestrales (fajas) por cada población según el tipo de bosque.
- ❖ Se realizó un filtro a la base de datos originales con la finalidad de obtener la base de datos del presente trabajo de investigación, de tal manera que incluyan solo a los árboles inventariados según las unidades muestrales seleccionadas
- ❖ Finalmente se procedió a dar formato a la base de datos apropiada para que se proceda a la importación de tablas mediante el software estadístico IBM SPSS versión 25.

### 3.5. Técnicas de Procesamiento y análisis de los datos

#### 3.5.1. Volumen de agua

Para el procesamiento de los datos del volumen de agua por cada árbol individual, se utilizó el método indirecto que corresponde a la diferencia del volumen total del árbol en estado fresco menos el volumen de la biomasa del árbol.

- ❖ La **biomasa** del árbol se estimó utilizando la fórmula:  
**Biomasa** = volumen total x densidad básica de la madera
- ❖ El **volumen total**:  
**Vt** = área basal x altura total x factor de forma (0,65)

- ❖ El estrato de bosque se calculó utilizando el método de Lamprecht (35), que utiliza el promedio y desviación estándar como criterio de cálculo del límite superior e inferior para cada estrato, tal como se indica a continuación:
  - Estrato superior = altura total  $\geq \mu + \sigma$
  - Estrato medio = altura total dentro del intervalo  $\mu \pm \sigma$
  - Estrato inferior = altura total  $\leq \mu - \sigma$
- ❖ Los datos fueron procesados utilizando la opción de tablas y gráficos dinámicos generados con el software Excel 13. Adicionalmente, se utilizó el SPSS versión 25 para generar las tablas y gráficos, de acuerdo a los objetivos del presente estudio.
- ❖ Para el análisis de datos, se utilizaron los valores estadísticos tanto de medidas de tendencia central y de dispersión obtenidas con el procesador SPSS versión 25. La hipótesis de la tesis es del tipo cuantitativo y cualitativo. Para realizar las comparaciones de medias entre el volumen de agua de los diferentes tipos de bosque se verificó los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza mediante las pruebas de Shapiro-Wilks y Levene, respectivamente. Posteriormente se realizó un Análisis de Varianza (ANOVA) a un 95% de probabilidad. Con la finalidad de tener una visión panorámica de la variable cuantitativa evaluada, se realizó un mapa de calor comparando el volumen de agua, número de individuos por familia, especies y hectárea. Los datos fueron normalizados y el procesamiento fue realizado en el programa Rstudio 3.3.0. (74).
- ❖ Respecto a los indicadores del estado de conservación de cada bosque de la amazonia peruana (Variable cualitativa), se realizó la estadística descriptiva con la finalidad de determinar el patrón de variación por cada tipo de bosque.

### **3.5.2 Conservación de bosques**

Para definir el estado de conservación de los bosques amazónicos se han utilizado trece indicadores, tomando como base el “Estudio de evaluación del estado de conservación de los ecosistemas de la cuenca

del río Cañete” (37) y el “Manual de criterios y parámetros del INAB, 2020” (75). “El estado de conservación calculado a partir de los indicadores refleja la capacidad del ecosistema para cumplir funciones ecológicas claves como flujo de energía, ciclaje de nutrientes, ciclo hidrológico, así como su capacidad para recuperarse de alteraciones causadas por factores perturbadores de origen natural y humano” (36 p6).

La evaluación del estado de conservación del bosque, se realizó en los cuatro tipos de bosques que se encuentran en el área de estudio: bosque intervenido Arboretum el Huayo, bosque primario RNAM, bosque varillal alto húmedo y bosque varillal alto seco. Los mismos que fueron evaluados utilizando las fichas y tablas para la clasificación del estado de conservación del bosque correspondiente. Las fichas de evaluación estuvieron conformadas por 13 indicadores que fueron evaluados y ponderados en campo, y con aquellos que fueron obtenidos con los resultados del inventario forestal nacional. El total de indicadores utilizados en la evaluación fueron los siguientes:

**Indicador 1:** Regeneración natural (valor máximo fue de 5)

**Indicador 2:** Familias forestales indicadoras (valor máximo fue de 5)

**Indicador 3:** Abundancia relativa de familias indicadoras (valor máximo fue de 5)

**Indicador 4:** Especies amenazadas (valor máximo fue de 5)

**Indicador 5:** Cobertura forestal (valor máximo fue de 5)

**Indicador 7:** Condiciones del Entorno (condiciones externas) (valor máximo fue de 5)

**Indicador 8:** Extracción de madera y leña (condiciones internas) (valor máximo fue de 5)

**Indicador 9:** Caminos, senderos y canales (valor máximo fue de 5)

**Indicador 10:** Incendios forestales (valor máximo fue de 5)

**Indicador 11:** Flora asociada (valor máximo fue de 5)

**Indicador 12:** Fauna (valor máximo fue de 3)

**Indicador 13:** Número de estratos (valor máximo fue de 5)

**Indicador 14:** Clases diamétricas (valor máximo fue de 5)

De acuerdo a la metodología utilizada, “el resultado de la ponderación de estos indicadores se da de forma porcentual, en una escala de cero (0%) a cien (100%). En esta escala se establecen tres estados de conservación: Bueno, Regular y Malo” (37 p2).

<b>Estado de conservación</b>	<b>%</b>	<b>Recomendación</b>
Bueno	70,91-100	<b>Aplica para las modalidades de:</b> Manejo de bosque natural con fines de Protección Manejo de bosque natural con fines de Producción*
Regular	25,91 – 70,90	<b>Aplica para las modalidades de:</b> Manejo de bosque natural con fines de Producción Restauración de Tierras Forestales Degradadas
	0 – 25,90	<b>Aplica únicamente para la modalidad de:</b> Restauración de Tierras Forestales Degradadas

### **3.6. Aspectos éticos**

Al considerar el presente trabajo de investigación en el área de bosques tropicales, no se incluye este rubro.

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS

### 4.1. Variabilidad del Almacenamiento de Agua en Bosques Tropicales (m<sup>3</sup>/ha).

**Tabla 2. Almacenamiento de agua promedio y variabilidad por tipo de bosque amazónico.**

Tipo bosque	Volumen de agua (m <sup>3</sup> /ha)	Desviación estándar	Coficiente de variación (%)	n
Bosque intervenido Arboretum el Huayo	117,839	37,64	31,938	8
Bosque primario RNAM	200,984	67,07	33,371	8
Bosque varillal alto húmedo	116,212	25,93	22,310	8
Bosque varillal alto seco	117,640	29,11	24,742	8
<b>Total</b>	<b>138,169</b>	<b>55,11</b>	<b>39,884</b>	<b>32</b>

La tabla 2 presenta el almacenamiento de agua en diferentes tipos de bosques tropicales. El **Bosque Intervenido Arboretum el Huayo** exhibe un promedio de almacenamiento de agua de 117,839 m<sup>3</sup> por hectárea, donde la desviación estándar de 37,64 m<sup>3</sup>/ha señala una variabilidad considerable en los datos, con un coeficiente de variación del 31,938%, indicando una heterogeneidad moderada en el volumen de agua almacenada en los árboles. El **Bosque Primario RNAM** presenta un volumen de agua promedio superior de 200.984 m<sup>3</sup>/ha en comparación con el bosque intervenido. Sin embargo, su desviación estándar de 67,07 m<sup>3</sup>/ha indica una variabilidad significativa en los datos, lo que se traduce en un moderado coeficiente de variación del 33,371%, sugiere una alta variabilidad en el almacenamiento de agua en este tipo de bosque. El **Bosque Varillal Alto Húmedo** presenta un volumen de agua promedio de 116,212 m<sup>3</sup>/ha y una desviación estándar de 25,93 m<sup>3</sup>/ha, lo cual se traduce en un coeficiente de variación del 22,310%, lo que indica una menor variabilidad en el almacenamiento de agua en comparación con los bosques previamente mencionados. El **Bosque Varillal Alto Seco** exhibe un promedio de almacenamiento de agua de 117,640 m<sup>3</sup>/ha, con una desviación estándar de 29,11 m<sup>3</sup>/ha. El coeficiente de variación del 24,742% indica una variabilidad moderada en el almacenamiento de agua.

#### 4.2. Volumen de Agua en la Madera (m<sup>3</sup>/ha) por Tipo de Bosque.

El análisis de varianza indica que existe una diferencia significativa entre al menos dos de los tipos de bosques que se están comparando. (Anexo 2).

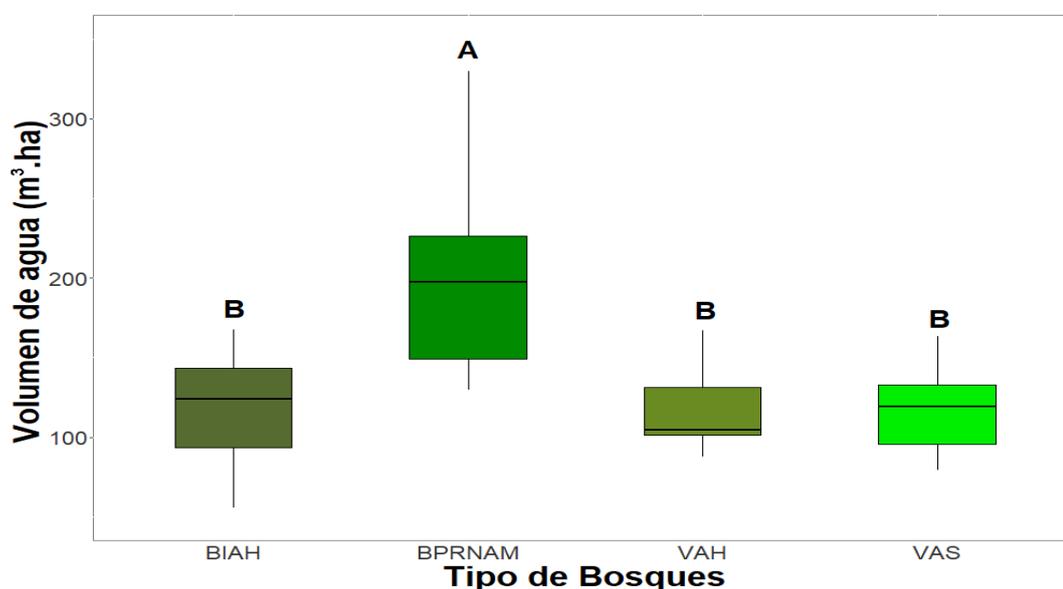
**Tabla 3. Análisis de varianza: Pruebas de efectos inter sujetos de la variable independiente: Volumen de agua en la madera (m<sup>3</sup>/ha).**

Fuente de variación	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.(Significancia observada)
Bosque	42100.288	3	14033.429	7.551	0.0007***
Error	52040.284	28	1858.582		
Total	94140.572	31			

\*\*\* = p < 0,001.

En la tabla 3, se observa la baja significancia observada (0.0007) sugiere que estas diferencias no son el resultado del azar y son estadísticamente importantes. Esto podría afirmar que los diferentes tipos de bosques tienen un impacto significativo en el volumen de agua en la madera.

**Gráfico 1. Comparación de medias del volumen de agua por tipo de bosque tropical amazónico.**



Donde: BIAH: Bosque intervenido Arboretum el Huayo, BPRNAM: Bosque primario RNAM, VAH: Varillal alto húmedo, VAS: Varillal alto húmedo.

En el gráfico 1, el análisis de comparaciones múltiples post hoc reveló diferencias significativas en el volumen de agua almacenada (expresada en m<sup>3</sup>/ha) entre los diferentes tipos de bosques. El Bosque primario RNAM

exhibió un valor promedio de almacenamiento de agua significativamente mayor (200.984), superando en gran medida al Bosque intervenido Arboretum el Huayo (117.839), al Bosque varillal alto seco (117.640) y al Bosque varillal alto húmedo (116.212). Se evidencia que el Bosque primario RNAM sobresale significativamente en su capacidad para almacenar agua en comparación con los otros tipos de bosques estudiados. Estas diferencias son estadísticamente significativas, con un valor de  $p < 0.001$  en todas las comparaciones, de aquí la importancia de conservar y proteger este bosque primario, dada su contribución al ciclo hidrológico y la conservación de recursos hídricos en la región amazónica.

#### 4.3. Promedio de Volumen de Agua por Estrato y Tipo de Bosque (m<sup>3</sup>/ha)

**Tabla 4. Promedio de volumen de agua por estrato y tipo de bosque.**

Tipo de bosque	Estrato	Media (m <sup>3</sup> h2O/ha)	Desviación		n
			Estándar (m <sup>3</sup> h2O/ha)	CV%	
Bosque intervenido Arboretum el Huayo	Inferior	2,034	1,048	51,520	8
	Intermedio	49,010	22,799	46,519	8
	Superior	66,795	44,087	66,004	8
Bosque primario RNAM	Inferior	0,994	0,773	77,761	8
	Intermedio	63,760	19,969	31,319	8
	Superior	136,260	51,316	37,660	8
Varillal alto húmedo	Inferior	2,367	1,134	47,924	8
	Intermedio	48,400	9,649	19,937	8
	Superior	65,446	26,021	39,760	8
Varillal alto seco	Inferior	1,344	0,816	60,692	8
	Intermedio	64,812	13,454	20,758	8
	Superior	59,032	36,111	61,172	8

En la tabla 4 se observan los resultados en cuanto al promedio del volumen de agua desde el punto de vista de la estructura vertical, es decir por estrato y por tipo de bosques. En el **Bosque Intervenido Arboretum el Huayo**, el **estrato inferior**, muestra un promedio bajo de volumen de agua en la madera (2.034 m<sup>3</sup>/ha); la variabilidad es moderada, lo que sugiere cierta variación en el almacenamiento de agua. El **estrato intermedio**, tiene un promedio (49.010 m<sup>3</sup>/ha) más alto en comparación con el estrato inferior, y la variabilidad

es relativamente baja; esto podría indicar una mayor capacidad de retención de agua y una mayor consistencia entre las parcelas en este estrato. El **estrato superior** presenta el promedio (66,795 m<sup>3</sup>/ha) más alto de todos los estratos; sin embargo, la variabilidad es significativamente alta, lo que sugiere que, aunque el promedio sea elevado, existe una gran heterogeneidad en las cantidades de agua almacenada. En el **Bosque Primario RNAM**; el **estrato inferior** tiene el promedio (0,994 m<sup>3</sup>/ha) más bajo de todos los estratos y tipos de bosque, pero la variabilidad es alta, lo que sugiere una gran heterogeneidad en el almacenamiento de agua en este estrato; en el **estrato intermedio**, el promedio aumenta significativamente en comparación con el estrato inferior (63,760 m<sup>3</sup>/ha) y la variabilidad es baja; esto podría indicar una mayor capacidad de retención de agua en este estrato con una consistencia notable. El **estrato superior** presenta el promedio más alto de todos los estratos y tipos de bosques ((136,260 m<sup>3</sup>/ha), pero la variabilidad es medianamente baja, esto sugiere que, aunque la capacidad de retención de agua es alta en promedio, existe variación entre las parcelas en términos de la cantidad de agua almacenada. , En el **Varillal Alto Húmedo** el **estrato inferior** presenta el menor promedio de volumen de agua en la madera (2,367 m<sup>3</sup>/ha), indicando que, en las capas más bajas del bosque, el almacenamiento de agua es más limitado y la variabilidad es baja, lo que sugiere cierta uniformidad en la capacidad de retención de agua en este estrato. El **estrato intermedio**, el promedio (48,400 m<sup>3</sup>/ha) aumenta significativamente, lo que podría estar relacionado con la interacción con la vegetación circundante; la variabilidad es muy baja, lo que sugiere una consistencia notable en el almacenamiento de agua entre las parcelas de este estrato. El **estrato superior** tiene el promedio (65.446 m<sup>3</sup>/ha), más alto de los otros estratos, pero la variabilidad es relativamente alta; esto podría indicar que, aunque la capacidad de retención de agua es mayor en este estrato en promedio, existen diferencias significativas entre las parcelas en términos de la cantidad de agua almacenada. En el **Varillal Alto Seco**; el **estrato inferior** tiene un promedio (1,344 m<sup>3</sup>/ha) moderado de volumen de agua en la madera y la variabilidad es moderada, lo que indica cierta variación en el almacenamiento de agua en este estrato. El **estrato intermedio**, muestra un promedio (64,812 m<sup>3</sup>/ha) muy alto en comparación con otros estratos y tipos de bosque, y la variabilidad es

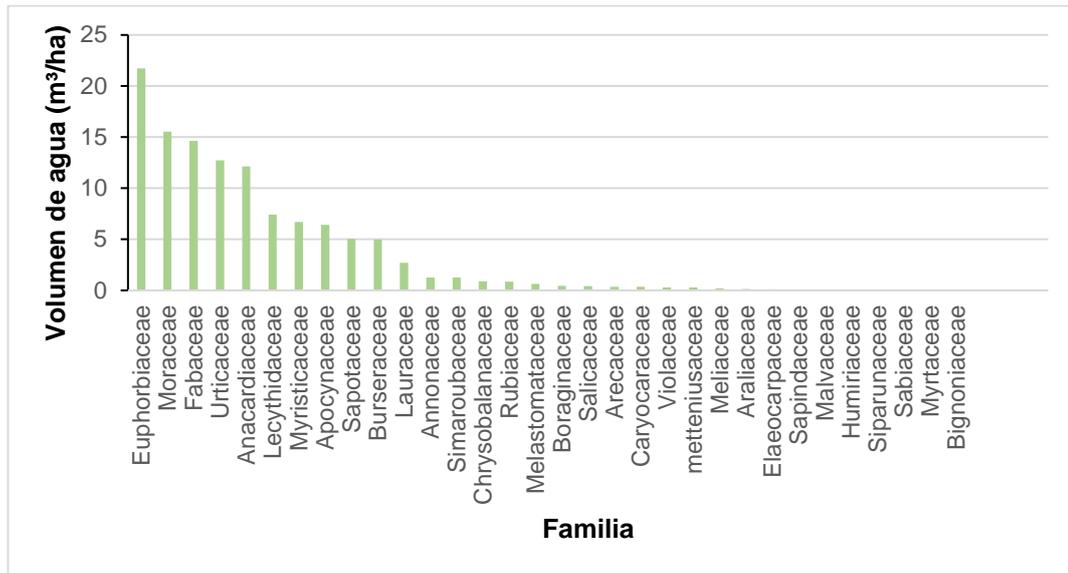
relativamente baja; esto sugiere una alta consistencia en el almacenamiento de agua entre las parcelas en este estrato. En el **estrato superior** el promedio (50,032 m<sup>3</sup>/ha) es moderado, y la variabilidad es también moderada; esto indica que, en general, este estrato tiene un almacenamiento de agua equilibrado en términos de promedio y variabilidad.

#### **4.4. Contribución de Familias forestales al Volumen de Agua en Diferentes Tipos de Bosques Amazónicos**

Los Gráficos 2, 3, 4 y 5 destacan las especies arbóreas que más contribuyen en promedio al volumen de agua en diferentes tipos de bosques amazónicos. A través de estos gráficos, se observa que las especies que lideran en términos de aporte de volumen de agua pueden variar según el tipo de bosque, pero también se revelan similitudes y diferencias notables.

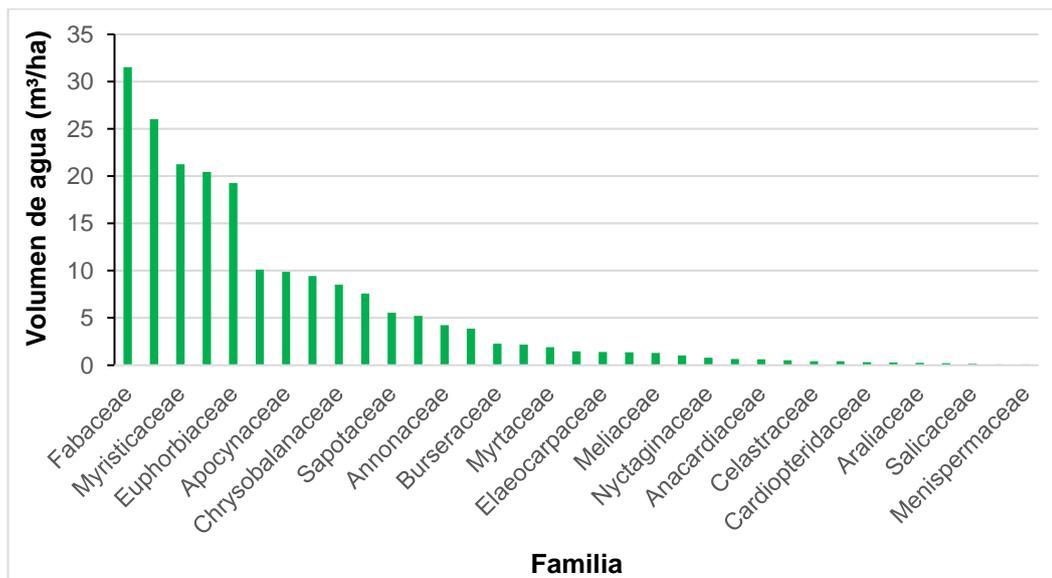
Los volúmenes de agua sugieren que diferentes especies arbóreas pueden desempeñar un papel muy fundamental en la contribución al ciclo del agua en diferentes tipos de bosques amazónicos. Aunque algunas especies son compartidas entre bosques cercanos geográficamente, otras son únicas para un tipo de bosque específico. Esto destaca la importancia de considerar la biodiversidad y las interacciones entre especies al evaluar el papel de los bosques en la regulación del agua en la Amazonia.

**Gráfico 2. Volumen de agua que aportan las familias en un bosque intervenido Arboretum el Huayo.**



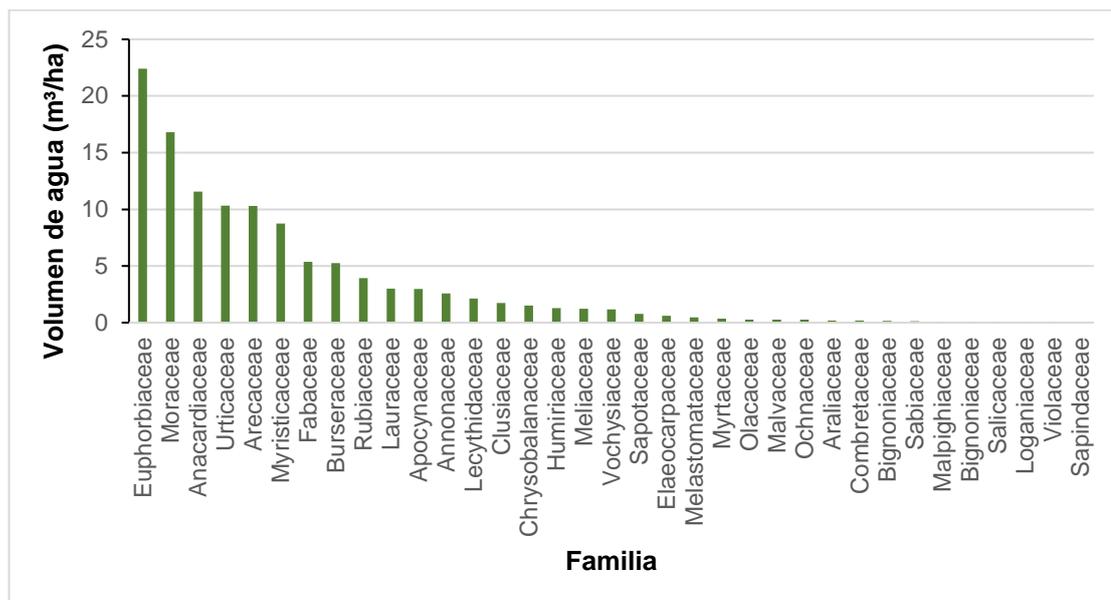
En el bosque intervenido Arboretum el Huayo, las familias que mayor promedio de volumen de agua presentaron, fueron las Euphorbiaceae, Moraceae, Fabaceae, Urticaceae, Anacardiaceae y Lecythidaceae, de un total de 32 familias encontradas (Anexo 3).

**Gráfico 3. Volumen promedio de agua que aportan las familias en un bosque primario de la RNAM.**



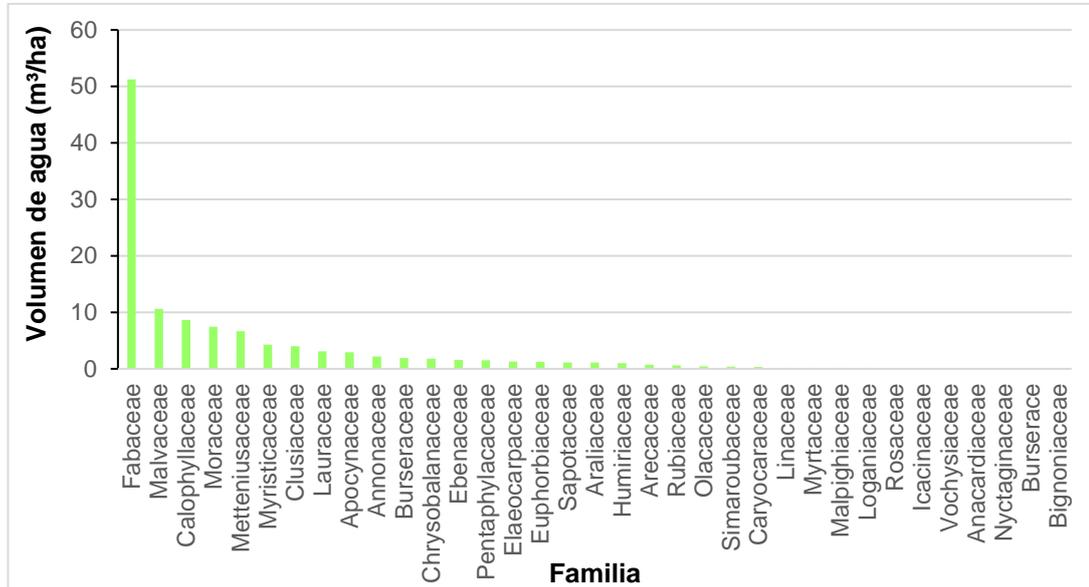
En el bosque primario de la RNAM, las familias que mayor promedio de volumen de agua presentaron, fueron las Fabaceae, Malvaceae, Myristicaceae, Moraceae, Euphorbiaceae y Lauraceae, de un total de 42 familias encontradas (Anexo 4).

**Gráfico 4. Volumen de agua que aportan las familias en un bosque varillal alto húmedo.**



En el bosque de varillal alto húmedo las familias que mayor promedio de volumen de agua presentaron, fueron las familias de Euphorbiaceae, Moraceae, Anacardiaceae, Arecaceae, Urticaceae, Arecaceae y Myristicaceae de un total de 35 familias encontradas (Anexo 5).

**Gráfico 5. Volumen promedio de agua que aportan las familias en un bosque varillal alto seco.**



En el bosque varillal alto seco, las familias que mayor promedio de volumen de agua presentaron, fueron las Fabaceae, Malvaceae, Calophyllaceae, Moraceae, Metteniusaceae y Myristicaceae de un total de 35 familias encontradas (Anexo 6).

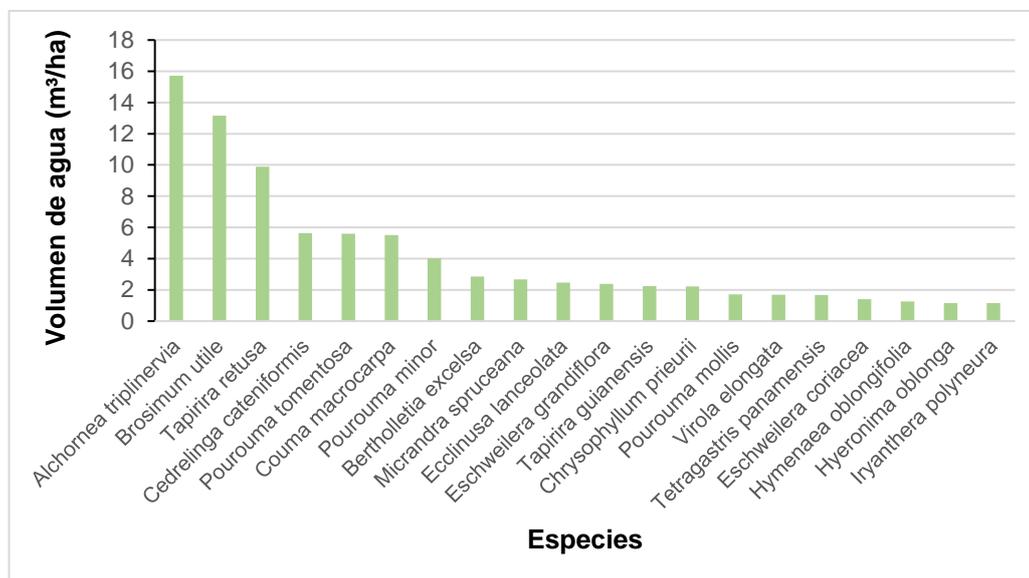
#### **4.5. Contribución de Especies Arbóreas al Volumen de Agua en Diferentes Tipos de Bosques Amazónicos.**

Los Gráficos 6, 7, 8 y 9 destacan las especies arbóreas que más contribuyen en promedio al volumen de agua en diferentes tipos de bosques amazónicos. A través de ellos, se observan que las especies que lideran en términos de aporte de volumen de agua pueden variar según el tipo de bosque, pero también se revelan similitudes y diferencias notables.

Los volúmenes de agua sugieren que diferentes especies arbóreas pueden desempeñar un papel muy fundamental en la contribución al ciclo del agua en diferentes tipos de bosques amazónicos. Aunque algunas especies son compartidas entre bosques cercanos geográficamente, otras son únicas para un tipo de bosque específico. Esto destaca la importancia de considerar la

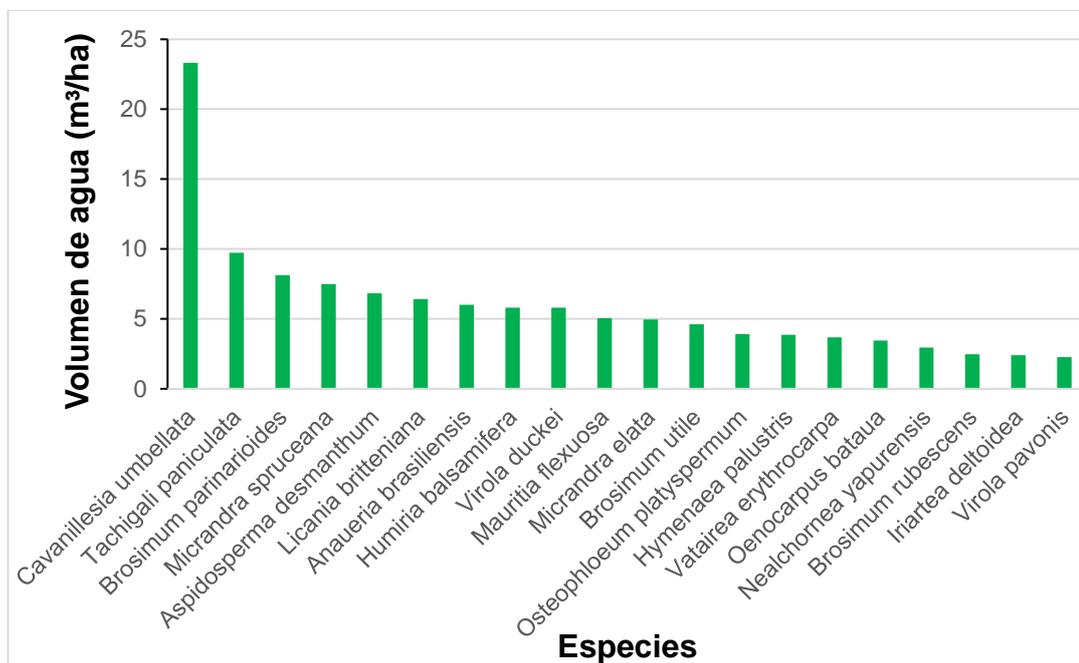
biodiversidad y las interacciones entre especies al evaluar el papel de los bosques en la regulación del agua en la Amazonia.

**Gráfico 6. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque intervenido Arboretum el Huayo.**



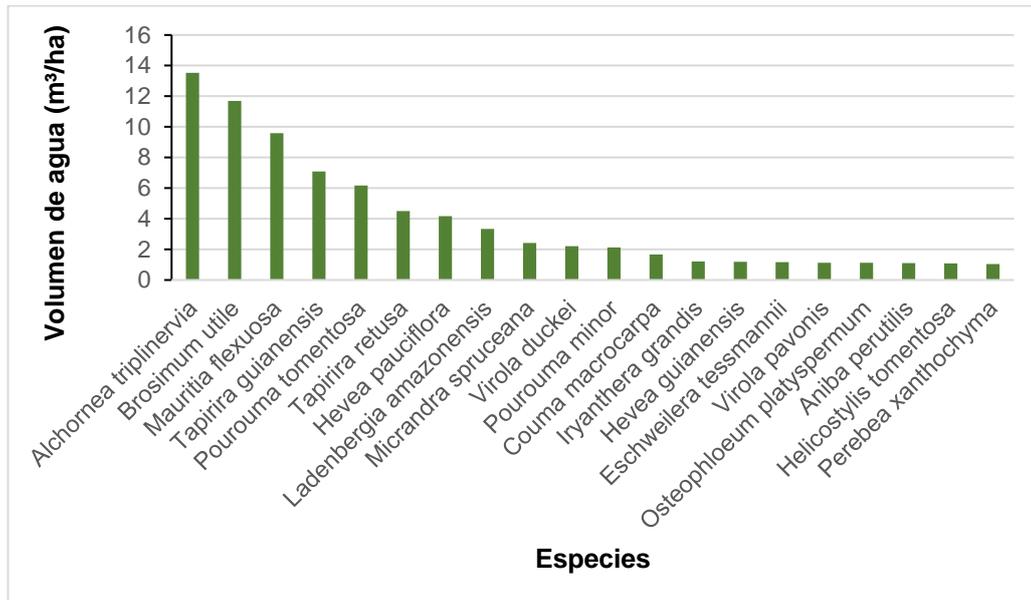
En el bosque intervenido Arboretum el Huayo, las seis especies con mayor promedio de volumen de agua son: *Alchornea triplinervia*, *Brosimum utile*, *Tapirira retusa*, *Cedrelinga cateniformis*, *Pourouma tomentosa* y *Couma macrocarpa*. En este bosque intervenido, dos de las especies que más aportan al volumen de agua son las mismas que en el bosque varillal alto húmedo, lo que podría indicar la influencia de la geografía en la distribución de especies.

**Gráfico 7. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque primario de la RNAM.**



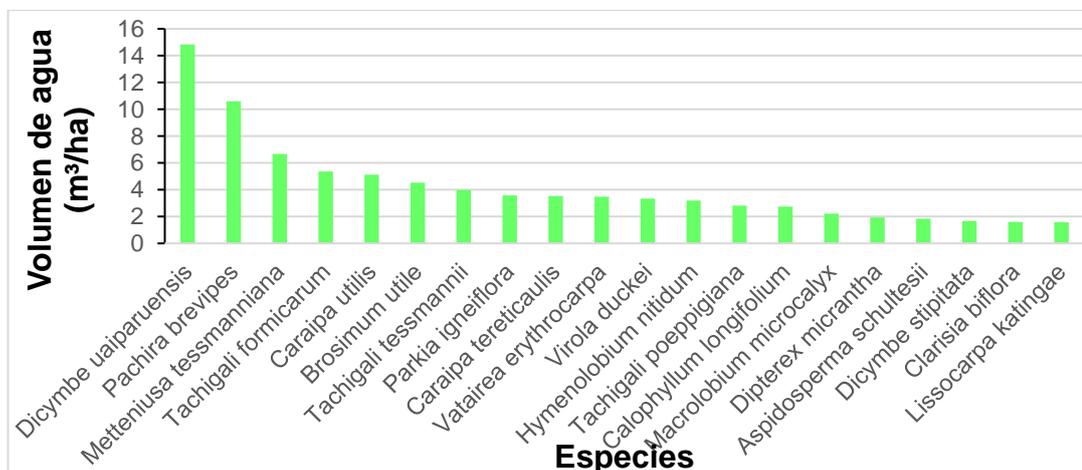
En el bosque primario de la RNAM se puede observar que las seis especies con mayor aporte en promedio de volumen de agua se tienen a: *Cavanillesia umbellata*, *Tachigali paniculata*, *Brosimum parinarioides*, *Micrandra spruceana*, *Aspidosperma desmanthum* y *Licania brittoniana*. A pesar de tener la mayor diversidad de especies, este bosque primario presenta una selección única de especies que contribuyen al volumen de agua. Aunque es diverso, estas especies juegan una función importante en el ciclo del agua (Anexo 8).

**Gráfico 8. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque varillal alto húmedo.**



En relación a las especies que mayor volumen de agua aportan al ecosistema, se observa que, en el bosque varillal alto húmedo las seis especies que aportan con mayor volumen de agua son: *Alchornea triplinervia*, *Brosimum utile*, *Mauritia flexuosa*, *Tapirira guianensis*, *Pourouma tomentosa* y *Tapirira retusa* (Anexo 9). En este bosque, se destaca una diversidad de especies que contribuyen significativamente al volumen de agua. Muestra una diversidad de especies única, lo que sugiere una adaptación de diferentes especies a condiciones de humedad.

**Gráfico 9. Especies que más aportan en promedio de volumen de agua en el bosque varillal alto seco.**



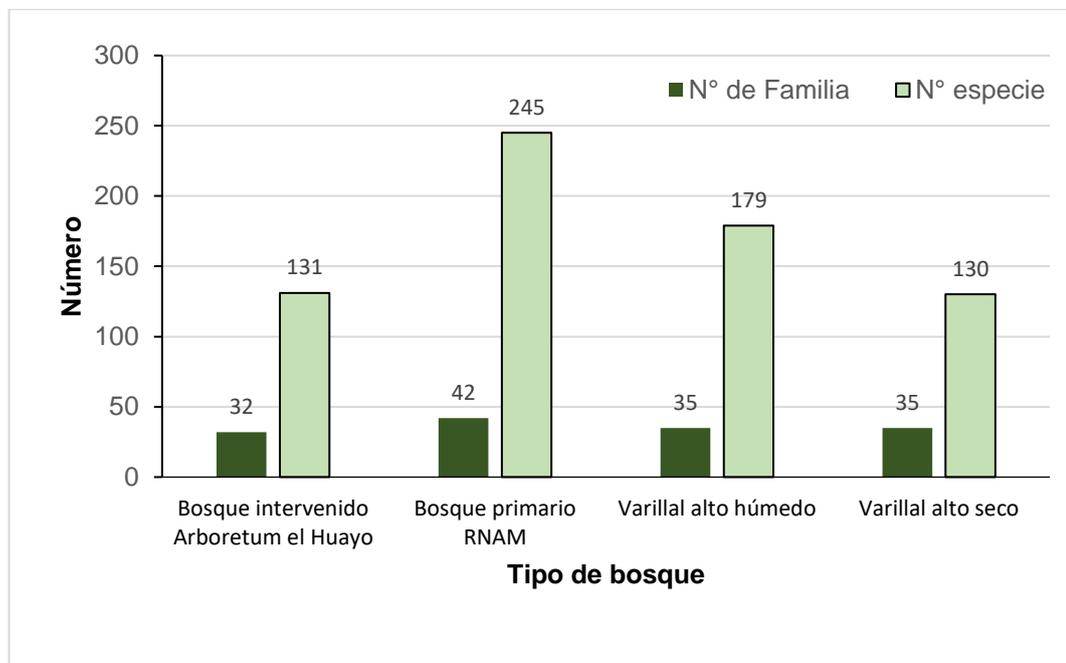
En el bosque varillal alto seco, se puede observar que las seis especies con mayor aporte en promedio de volumen de agua se tienen a: *Dicymbe uaiparuensis*, *Pachira brevipes*, *Metteniusa tessmanniana*, *Tachigali formicarum*, *Caraipa utilis* y *Brosimum utile*; donde dos especies se encuentran compartiendo con el bosque varillal alto húmedo y el bosque intervenido Arboretum el Huayo. A pesar de la diferente composición florística en comparación con el bosque varillal alto húmedo, este bosque seco muestra un aporte de volumen de agua similar. Destaca por tener un mayor número de árboles en comparación con otros tipos de bosques (Anexo 10).

#### **4.6. Relación entre Diversidad de Especies, Número de Árboles, mapa de calor y Volumen de Agua en Diferentes Clases Diamétricas en Bosques Amazónicos**

Los gráficos 10, 11, 12 y 13 muestran una visión significativa de la relación entre la diversidad de especies y su contribución al volumen de agua en diversos tipos de bosques amazónicos, la diversidad de especies en relación con el volumen de agua almacenado en los diferentes tipos de bosques amazónicos. Se observa que no existe una relación lineal clara entre estos dos factores. Aunque algunos bosques pueden tener una alta diversidad de especies, esto no necesariamente se traduce en un mayor almacenamiento de agua. El Bosque Primario de la **Reserva Nacional Allpahuayo Mishana** (RNAM). A pesar de su alta diversidad de especies, se destaca por su capacidad de almacenar grandes volúmenes de agua, lo que sugiere que la biodiversidad en este bosque contribuye significativamente a su función como regulador del ciclo del agua en la región amazónica. Para el **Bosque Varillal Alto Seco**, se observa una relación particular entre la diversidad de especies y el volumen de agua almacenado. Aunque la diversidad es moderada en este bosque, su capacidad de almacenar agua es significativa, lo que indica que ciertas especies pueden desempeñar un papel fundamental en la regulación hidrológica. El **mapa de calor y el dendrograma** proporcionan una vista general que destaca la diversidad en las respuestas de los diferentes tipos de bosques estudiados. El Bosque Primario de la RNAM se destaca como un caso único con alta biodiversidad y un importante almacenamiento de agua. Los Bosques Varillales se agrupan debido a similitudes en sus características,

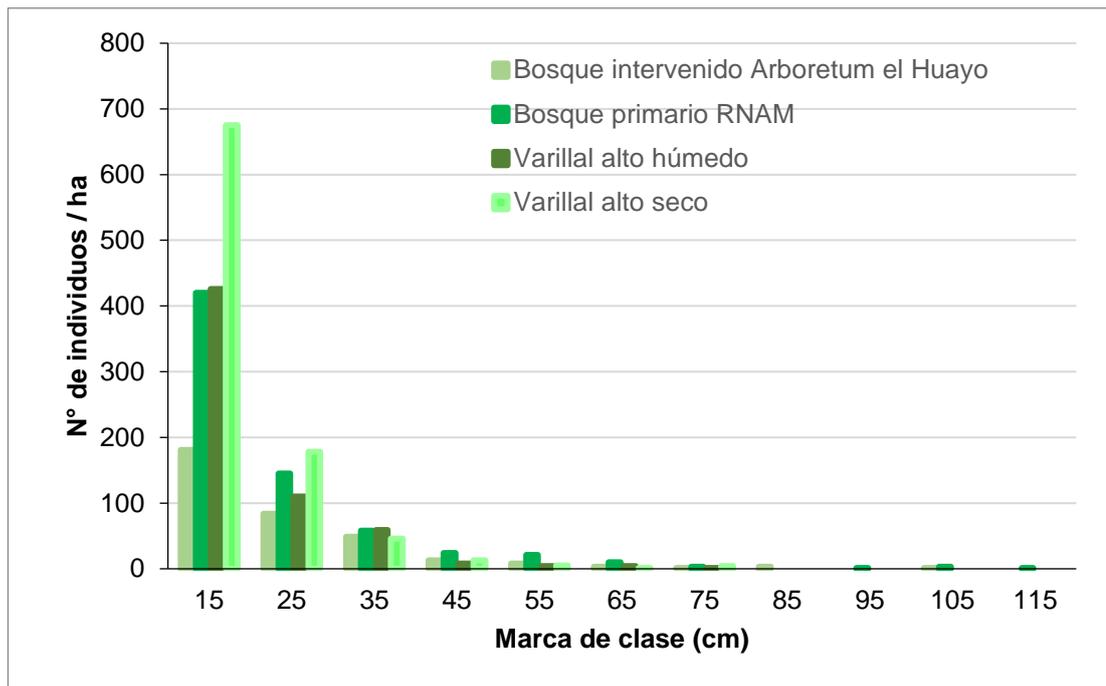
y el Bosque Intervenido Arboretum el Huayo se distingue por mostrar los valores más bajos en las variables analizadas.

**Gráfico 10. Número total de familias y especies por tipo de bosque.**



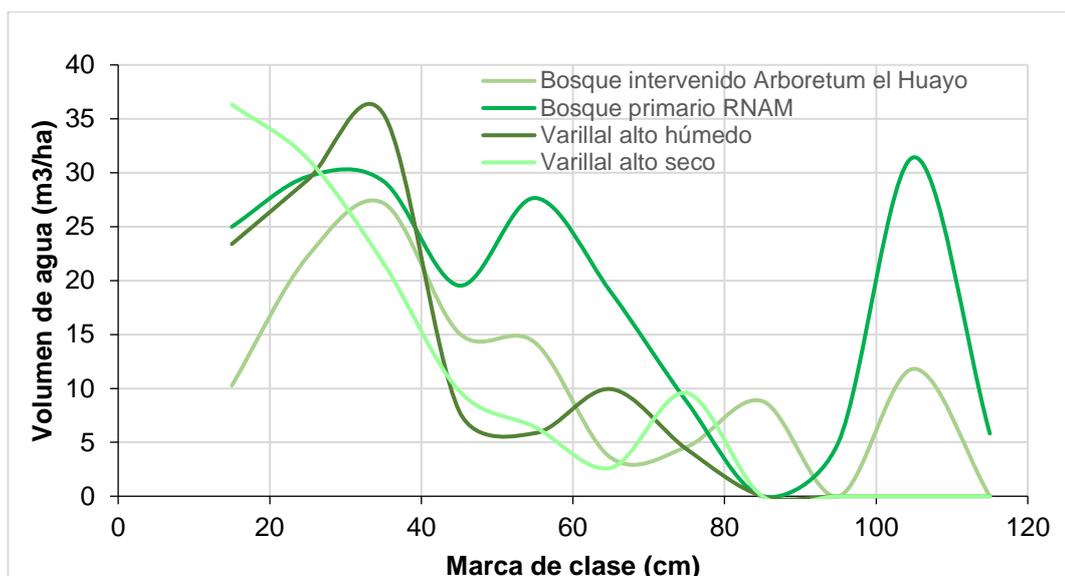
En el gráfico 10 se observa que la diferencia entre el número de familias por tipo de bosque no es significativa, por cuanto la diferencia es mínima; pero en cuanto a la diferencia de especies por tipo de bosque, hay una diferencia marcada entre el bosque primario de la RNAM y los otros tres tipos de bosque, donde al bosque primario posee el mayor número, seguido del bosque intervenido y en menor cantidad se observan los bosques de varillales que poseen la cantidad de especies muy cercanos.

**Gráfico 11. Relación entre número de árboles por ha y clase diamétrica.**



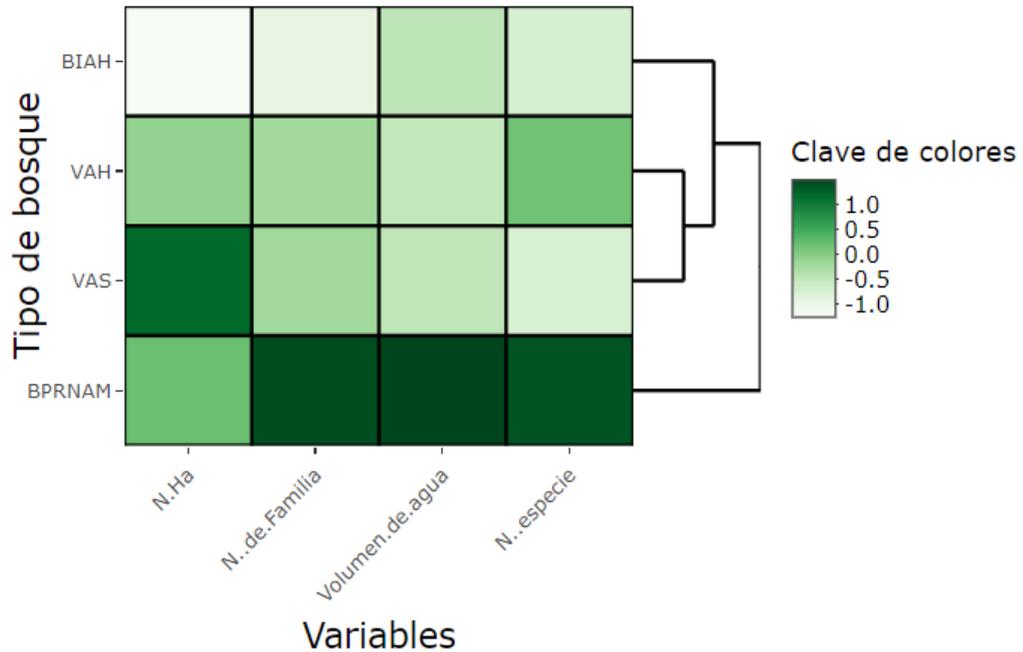
El bosque primario muestra una mayor diversidad de especies y una distribución más uniforme de árboles en diferentes clases diamétricas, alcanzando una clase diamétrica de hasta 150 cm de diámetro a la altura del pecho (DAP). El bosque varillal alto seco destaca por tener el mayor número de árboles por hectárea, con una concentración significativa en la clase diamétrica menor (10 cm DAP). A medida que aumenta el diámetro, disminuye el número de árboles en este tipo de bosque.

**Gráfico 12. Relación de volumen de agua por ha y clase diamétrica.**



El volumen de agua en relación con las clases diamétricas muestra un patrón inverso al número de árboles. Las mayores cantidades de agua se encuentran en la clase diamétrica menor (10 cm DAP), disminuyendo a medida que aumenta la clase diamétrica. A pesar de que el bosque primario no tiene el mayor número de árboles por hectárea, exhibe un mayor volumen de agua. Esto se debe a la presencia de árboles con diámetros más grandes que almacenan una mayor cantidad de agua en sus estructuras, lo que le otorga una ventaja en términos de contenido hídrico en comparación con otros tipos de bosques.

**Gráfico 13. Mapa de calor y dendrograma de boques amazónicos.**



En el Gráfico 13, se realiza una representación visual de los datos a través de un mapa de calor que revela patrones de agrupación y diferenciación entre los diferentes tipos de bosques estudiados en función de tres variables clave: el número de familias de árboles presentes, el volumen de agua almacenado y el número de especies de árboles en cada tipo de bosque. El Bosque Primario de la RNAM (Reserva Nacional Allpahuayo Mishana), se distingue como una categoría única en el mapa de calor, se caracteriza por presentar los valores más altos tanto en el número de familias de árboles como en el volumen de agua almacenado. Además, exhibe una diversidad significativa en cuanto al número de especies de árboles. El Bosque Varillal Alto Seco, se encuentra agrupado con el Bosque Varillal Alto Húmedo en el mapa de calor. Específicamente, el Bosque Varillal Alto Seco se destaca por tener un mayor número de árboles por hectárea en comparación con otros tipos de bosques. El Bosque Intervenido Arboretum el Huayo, este bosque forma un grupo único y separado en el mapa de calor. Se caracteriza por mostrar los valores más bajos en las variables analizadas, incluyendo el número de familias de árboles, el volumen de agua almacenado y el número de especies de árboles.

#### **4.7. Contribución del Volumen de Agua al Estado de Conservación de Bosques Amazónicos.**

Las Tablas 5 y 6 revelan una relación significativa entre el volumen de agua y el estado de conservación de los bosques amazónicos evaluados. A medida que el volumen de agua por hectárea ( $m^3/ha$ ) aumenta, se observa una mejora en el estado de conservación de los bosques, y esta relación se refleja en el puntaje total de los indicadores de conservación.

Estos indicadores sugieren que el volumen de agua en los bosques amazónicos tiene una influencia positiva en su estado de conservación. Los bosques con un mayor volumen de agua tienden a estar en mejores condiciones de conservación en comparación con aquellos con volúmenes más bajos. Esta relación puede estar relacionada con la capacidad de los bosques para mantener un equilibrio ecológico y resistir perturbaciones ambientales, donde un mayor volumen de agua puede ser un indicador de mayor resiliencia y sostenibilidad.

**Tabla 5. Evaluación de los indicadores de conservación por tipo de bosques.**

Indicadores	Descripción	Tipo de bosque			
		Varrillal alto húmedo	Varillal alto seco	Intervenido Arboretum el Huayo	RNAM
1	Abundancia RRNN	Muy buena	Muy buena	Muy buena	Muy buena
2	Familia indicadora	Buena	Pobre	Buena	Buena
3	Abundancia de familias indicadoras	Pobre	Pobre	Regular	Pobre
4	Especies amenazadas	Pobre	Pobre	Pobre	Pobre
5	Cobertura forestal	Bueno	Bueno	Bueno	Bueno
7	Condiciones externas (extracción de madera y leña)	Extracción moderada	Extracción moderada	Extracción moderada	Sin evidencia
8	Condiciones internas (extracción de madera y leña)	Sin evidencia	Sin evidencia	Extracción moderada	Sin evidencia
9	Caminos, senderos y canales	Algunos senderos	Sin senderos	Sin senderos	Sin senderos
10	Incendios forestales	Ninguno	Ninguno	Ninguno	Ninguno
11	Flora asociada	Regular	Regular	Muy buena	Muy buena
12	Fauna	Representativa	Representativa	Representativa	Representativa
13	Número de estratos	3 o más estratos	3 o más estratos	3 o más estratos	3 o más estratos
14	Clases diamétricas	5 a 6 clases	5 a 6 clases	5 a 6 clases	7 a más clases
	<b>Puntaje total de indicadores</b>	41,8	42,5	43,4	51,6
	<b>% del puntaje total estado conservación</b>	66,3	67,5	68,8	81,9
	<b>Estado de conservación</b>	Regular	Regular	Regular	Bueno
	<b>Daños</b>	0 a 1,85%	0 a 1,14%	0 a 6,52%	0 a 1,37%
	<b>Presencia de lianas</b>	9,84 a 25%	1,72 a 9,09%	0 a 16,22%	1,75 a 24,72%
	<b>VH20/ha</b>	116,213	117,640	117,839	200,984
	<b>N°arb/ha</b>	612	922	343	686

El bosque primario de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana (RNAM) obtiene el puntaje total más alto (51.6) entre todos los tipos de bosques, lo que indica un estado de conservación "Bueno". Los otros tres tipos de

bosques, Varillal Alto Húmedo, Varillal Alto Seco e Intervenido Arboretum el Huayo, tienen puntajes totales más bajos y se clasifican como "Regulares" en términos de conservación.

**Tabla 6. Volumen de agua y estado de conservación de los bosques amazónicos.**

Tipo de bosque	H <sub>2</sub> O m <sup>3</sup> /ha	Estado de conservación
Varillal alto húmedo	116,213	Regular
Varillal alto seco	117,640	Regular
Intervenido Arboretum el Huayo	117,839	Regular
Primario de la RNAM	200,984	Bueno

Se puede observar claramente que el bosque primario de la RNAM tiene el mayor volumen de agua por hectárea (200,984 m<sup>3</sup>/ha). en comparación con los otros tipos de bosques. Los tres bosques restantes tienen volúmenes de agua más bajos y muy similares (alrededor de 117 m<sup>3</sup>/ha), todos significativamente inferiores al bosque primario. Esta relación directa entre el volumen de agua y el estado de conservación se refleja en el estado "Bueno" del bosque primario de la RNAM y el estado "Regular" de los otros bosques

## CAPÍTULO V: DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Los resultados obtenidos en esta investigación, se obtuvieron en base a los datos de los inventarios forestales realizados en el año 2020 por investigadores de la Facultad de Ciencias Forestales, donde la población utilizada en el bosque varillal alto húmedo fue de 8ha; en el bosque intervenido Arboretum el Huayo fue de 20ha; en el bosque varillal alto húmedo, 8ha; en el bosque varillal alto seco, 3ha y; en el bosque primario de la RNAM fue de 32 ha.

En la tabla 2 se tiene resultados de la variabilidad de los bosques tropicales amazónicos investigados, donde se observa que, el bosque de varillal alto húmedo aporta con el menor promedio de volumen de agua por hectárea; en cambio el bosque primario de la RNAM presenta un mayor promedio de volumen de agua por hectárea. Al realizar el análisis de la variabilidad en cuanto a los volúmenes de agua por hectárea con que aportan estos bosques amazónicos, se encuentra y visibiliza en el gráfico uno que, el bosque de varillal alto húmedo es el que presenta menor variabilidad (con 22,310% de variabilidad), seguido del bosque varillal alto seco (con 24,742%). lo que nos indica que los volúmenes agua de los árboles son bastante homogéneos En cambio, el menos homogéneo o más heterogéneo es el bosque primario de la RNAM (con 33,371% de variabilidad) el mismo que estaría influenciado por la presencia de grandes árboles; seguido del bosque intervenido Arboretum el Huayo (con 31,938 % de variabilidad) en cuanto al promedio del volumen de agua por hectárea.

La diferencia de variabilidad es notoria entre los bosques amazónicos (Figura 1), donde, el aporte de volumen de agua de los bosques de varillales es más homogénea que la del bosque primario e intervenido, los cuales son más variables, es decir que tienden a ser más heterogéneos. Este resultado nos lleva a asumir que, la variabilidad de volumen de agua de los diferentes tipos de bosques se debe a diferentes factores como son la composición florística particular y diversa que posee cada uno de estos bosques, a las diferentes edades de los árboles presentes en el área, a la diversidad de especies, a los diferentes tipos de suelos, clima, brillo solar, entro otros. Esta variabilidad también es manifestada por Meinzer FC (12 p19) al manifestar que “existe una

riqueza de especies arbóreas” y que, “esta diversidad de flora presenta problemas potenciales para ampliar las estimaciones del uso de agua, desde árboles individuales hasta rodales enteros y para hacer generalizaciones sobre la regulación fisiológica del uso del agua en árboles tropicales”.

Un aspecto interesante al observar el comportamiento de estos bosques tropicales es que, tanto el bosque primario de la RNAM como el bosque intervenido del Arboretum el Huayo al ser estadísticamente similares en cuanto al promedio de volumen de agua por ha; pueden complementarse y constituirse, esta última, en nuevas opciones para la conservación de los ecosistemas y del medio ambiente; tal como nos afirma Medio V (39 p39) quien nos dice que, “la desaparición de los bosques primarios hace que los bosques secundarios se conviertan en una alternativa de desarrollo forestal, y serán los únicos tipos de bosque existentes en el mundo tropical que proporcionarán un alivio en las emisiones de carbono sobre la atmósfera”. Asimismo, estos bosques intervenidos ratifican la importancia en el mundo actual al contribuir en forma efectiva conservación de los bosques y por ende, en “la conservación de la diversidad biológica directa e indirectamente al constituirse en una alternativa del desarrollo forestal, de la medicina; así como el de poder entender el funcionamiento de estos ecosistemas y las respuestas a la cada vez mayor expansión del desarrollo de actividades humanas, expansión agrícola y al cambio climático” (24 p208) y (22 p159).

Para poder desarrollar la parte estadística se tuvo que realizar análisis previos como el de, determinar la normalidad y la homogeneidad de la varianza; dando como resultado que nuestros supuestos presentaban normalidad y homogeneidad, por lo que se procedió a realizar el análisis de varianza, (tabla 3) en la que se aprecia que existe una diferencia estadística altamente significativa en el volumen de agua en la madera en los cuatro tipos de bosques estudiados ( $F_c=7.551$ ,  $p= 0.0007$ ), lo que nos indica que por lo menos un tipo de bosque presento un mayor volumen de agua en comparación a los otros tres tipos de bosques amazónicos estudiados, quienes presentan volúmenes promedio de agua muy similares, y contribuyen a la conservación de los bosques amazónicos con un importante aporte en el desarrollo de sus diferentes funciones; donde “la disponibilidad de agua es el principal factor limitante en muchos ecosistemas terrestres y, donde la

fotosíntesis requiere suficiente suministro de agua para permisos y restricciones en la entrega en cualquier punto hidráulico” (24 p188): asimismo, Cejudo (21) manifiesta que, “los árboles después de una lluvia absorben el agua del suelo, de la cual una parte se utiliza en la fotosíntesis, otra parte se queda guardada en el tronco (u otras partes del árbol) y otra transpira hacia la atmósfera por medio de poros que se encuentran en las hojas llamados estomas...” aseverando también que, “en los trópicos, los bosques tienen un efecto neto de enfriamiento, es decir, la temperatura del bosque y su región se mantienen por debajo de la que se observa en zonas sin áreas forestales o deforestadas. Estas afirmaciones son ratificadas por Anderson-Teixeira KJ (19), quien indica que, “los bosques tropicales juegan un papel importante en la regulación del clima a través de sus efectos en la temperatura y en la humedad relativa; liberan agua para el intercambio gaseoso al realizar la fotosíntesis y, durante este proceso ocurren intercambios de energía, así como cambios en la humedad relativa que conducen a reducciones en la temperatura”.

Un aspecto interesante, referente a la media se aprecia en el gráfico 2, en el que, el bosque primario de la RNAM difirió estadísticamente a un 95% de probabilidad respecto a los otros tipos de bosques, donde el bosque varillal alto húmedo es el que presenta una media menor.

La estructura vertical de estos bosques tropicales amazónicos (tabla 4) como parte importante de estudio de nuestros ecosistemas, nos indica que, el estrato superior ha presentado el mayor volumen de agua en los bosques primario, bosque intervenido y bosque varillal alto húmedo, y solo el bosque varillal alto seco presenta mayor volumen de agua en el estrato intermedio. Al comparar la variabilidad entre los estratos y tipos de bosques (gráfico 3), se observa que, si bien es cierto que el bosque primario posee mayor volumen de agua en el estrato superior, la mayor variabilidad se encuentra en el estrato inferior.; observándose la misma condición en el bosque varillal alto húmedo.

En el bosque intervenido Arboretum el Huayo, el mayor volumen de agua y mayor variabilidad, se observan el estrato superior. Una característica muy singular es el que nos presenta el bosque varillal alto seco, donde el mayor volumen de agua se encuentra en el estrato medio y la mayor variabilidad se encuentra en el estrato superior.

En los cuatro tipos de bosques estudiados el estrato medio es el que presenta la menor variabilidad, por lo que este estrato es que tiende a ser más homogéneo, donde estas especies del estrato intermedio dependerán de las especies ubicadas en el estrato superior, en cuanto a la cobertura de los árboles, claros, daños, parches, incendios, entre otros. Por otro lado, el bosque intervenido Arboretum el Huayo y el bosque primario de la RNAM son los que presentan mayor variabilidad y, por ende, tienden a ser más heterogéneos que los varillales; ratificándose una vez más, la diversidad existente en los diferentes campos de los bosques estudiados.

Considerando que el estrato medio y superior del bosque primario al igual que el bosque varillal alto seco, son más homogéneos en cuanto al volumen de agua, se puede decir que estos bosques tienden a ser ecosistemas más estables por la escasa presencia o intervención humana y contar árboles más grandes y maduros en el primer caso (bosque primario) y en el segundo caso (bosque varillal alto seco) alcanzan una estabilidad en el volumen de agua, por el mayor número de árboles pero de menor diámetro; todo ello tomando en cuenta lo manifestado por Tamartit-Urias(42) en que, “la cantidad de agua para el parámetro del máximo contenido de humedad-MCH está limitada por el volumen o espacio vacío, es decir, por el espacio no ocupado por la sustancia de la pared celular, extractivos y componentes inorgánicos” (p161); motivo por el cual se observa una diferencia significativa en el promedio de volumen de agua en cada uno de los bosques estudiados, aun a pesar que estos bosques poseen una estructura diferente en cuanto se refiere a la diversidad de especies en cada uno de los bosques, la edad de los árboles, el tamaño (altura y diámetro), diversas formas de copas y espacios entre copas, así como la densidad de la madera, biomasa del suelo, tipos de suelos y climas.

En los gráficos 4, 5, 6 y 7 relativo al promedio de volumen de agua por familia en cada uno de los bosques estudiados, se observa que la familia Moraceae se encuentra en todos los bosques estudiados, como una de las familias que aportan mayor volumen de agua; así como las familias Euphorbiaceae, Fabaceae, Urticaceae, Anacardiaceae, Malvaceae y Myristicaceae que se encuentran interactuando en los diferentes bosques. Estos cuatro bosques

estudiados, comparten en determinados momentos a las familias que más aportan en volumen de agua.

En el caso de las especies (figuras 8, 9, 10 y 11), el bosque primario de la RNAM presenta a las primeras seis especies que más aportan en volumen de agua, diferentes a las que poseen los otros tres bosques. Las especies de *Brosimum utile* y *Tapirira retusa* se encuentran en tres tipos de bosques (BIAH, BVAH y BVAS), así como las especies de *Alchornea triplinervia* y *Pourouma tormentosa* se encuentran en los bosques BIAH y el BAH.

Las especies que aportan mayor volumen de agua del BPRNAM son diferentes a las especies que presentan los otros tres tipos de bosque y que a la vez, posee el mayor número de especies (245), seguido del bosque varillal alto húmedo (179), del bosque intervenido Arboretum el Huayo (131), y finalmente el bosque de varillal alto seco (130).

Un aspecto interesante que se observa en el gráfico 8, es que, las 21 especies que más aportan en volumen de agua al bosque intervenido Arboretum el Huayo, representan el 72,60% del total de las 131 especies que posee el bosque; en el caso del bosque primario de la RNAM, las 21 especies que más aportan en volumen de agua contribuyen con el 60,319% del total de 245 especies; en el bosque varillal alto húmedo, el 67,53% de volumen de agua lo aportan 21 especies de un total de 179 especies; y; en el bosque varillal alto seco, el 73,24 % del volumen de agua que lo aportan 21 especies, de un total de 130 especies. Si bien es cierto que las especies que más aportan, son en un número reducido y son diferentes en los cuatro bosques estudiados, con algunas excepciones, esto nos indica, que muchos de los mecanismos por los cuales las especies coexisten son dependientes de la heterogeneidad ambiental en el tiempo o espacio, o en el caso de perturbaciones, en ambas heterogeneidades (76 p3).

Al analizar los cuadros y gráficos de las familias y especies que aportan con mayor volumen de agua a los diferentes bosques, podemos afirmar que tanto las familias (Moraceae, Anacardiaceae, Fabaceae, Euphorbiaceae, Urticaceae, Malvaceae y Apocynaceae, entre otras familias) como las especies (*Brosimum utile*, *Tapira retusa*, *Alchornea triplinervia* y *Porouma tormentosa*, entre otras especies) que aportan con mayor volumen de agua a los bosques, la madera poseen una densidad entre muy baja y baja, por lo que, a menor

densidad de la madera, mayor volumen de agua. Martínez et al. (15) manifiestan que, “una disminución de la densidad de madera puede ser favorable en términos adaptativos frente a un evento climático extremo, pero que también puede ser desfavorable, al aumentar la vulnerabilidad de las especies ante el estrés, de acuerdo con la respuesta de los mecanismos fisiológicos. [...]”. Al comparar los bosques de varillales alto seco y alto húmedo, se han observado que, generalmente, las familias y especies que mayor aporte de volumen de agua brindan, son diferentes y ello es debido a sus propias características, donde el bosque varillal alto seco se caracteriza por “tener suelos secos, con materia orgánica (hojarasca) y árboles con altura de 10 a 15 metros de promedio; en cambio el varillal alto húmedo tiene por característica el tener suelos húmedos, con una capa gruesa de materia orgánica (hojarasca) y bastantes raíces, con árboles de altura entre 10 y 15 metros de promedio” (77 p2). En estos bosques de varillales, los nutrientes son escasos, por lo que las plantas crecen gracias a las hojarascas que caen de los árboles para luego, junto con ramas caídas y, al tener suelos ácidos y arenosos, éstos dificultan el crecimiento y desarrollo de las especies forestales, la germinación de las semillas, y generan una vegetación restringida, especies mono dominantes, baja diversidad florística y elevado endemismo (78) (79) mencionados por (77).

En los gráficos 12, 13 y 14, se puede ver claramente que no necesariamente los bosques que tienen un mayor número de árboles son los que aportan con mayor volumen de agua, es así como el bosque varillal seco es que cuenta con mayor número de árboles, dado a que son altos y delgados y para poder contar con el adecuado volumen de agua y dadas las condiciones climáticas, tipo de suelo, composición florística, entre los diversos indicadores, necesitan un mayor número de árboles, los mismos que se encuentran concentrados entre las clases diamétricas de 10 a 70 cm de DAP; lo contrario se observa en el bosque primario que, si bien es cierto, no cuenta con el más alto número de árboles, si se encuentran árboles en cada una de las clases diamétricas, con diámetros que van desde los 10cm hasta los 150cm de DAP, donde la mayor concentración se encuentra en la clase diamétrica de 10cm y va disminuyendo progresivamente cuanto más alto es la clase diamétrica, resultando al final del estudio, el bosque que más volumen de agua presenta.

En los diferentes análisis realizados, se ha podido observar la variabilidad existente entre los cuatro tipos de estudios en cuanto al volumen de agua almacenada en los árboles, de donde se desprende la necesidad de ir realizando mayores y específicas investigaciones que permitan conocer más profundamente el funcionamiento hidráulico de los árboles por especies, edades, vaciante – creciente, tamaños, etc. en los bosques tropicales amazónicos. Se cuentan con estudios, mayormente en los bosques templados, como el realizado en pino silvestre, *Pinus sylvestris* L. (41) quien muestra que, “del 30 al 50% del agua transpirada se puede suministrar en cortos períodos de tiempo con agua almacenados dentro de la albura” (p809). “El uso de agua almacenada permite desacoplamientos transitorios del estado hídrico de la hoja, de la resistencia hidráulica y de la vía de transporte” (28). “La capacitancia de albura y uso de almacenamiento el agua aumenta con el mayor tamaño de los árboles” (27) (30) (p59). “La descarga de agua de tallos y ramas juega un papel importante en *A. australis* como fuente intermedia de agua a diario, observándose que, durante los períodos de sequías, el agua del almacenamiento ayuda a mantener las tasas de transpiración” (25 p64). Oliva Carrasco et al. (13) indican que, “el almacenamiento interno de agua en los árboles juega un papel importante en la economía hídrica de los árboles actuando como fuente de agua intermediaria para la transpiración de las hojas” (p355). Y, en referencia a la dinámica de los bosques y los aportes al ambiente, Cejudo (21) afirma que, “Los bosques también segregan sustancias conocidas como compuestos orgánicos volátiles-VOCs de todo tipo, tanto dentro de su estructura como fuera de esta, [...]” (p8).

En el gráfico 15, al realizar un análisis multivariado utilizando el mapa de calor y dendrograma de bosques amazónicos, se observa que, el bosque primario de la RNAM forma una sola clase y en ella presenta los mayores valores en número de familias y especies, así como mayor volumen de agua. Lo contrario se observa en el bosque intermedio Arboretum el Huayo, el cual presenta una sola clase y en ella se tienen los menores valores. Por otro lado, los bosques de varillales alto húmedo y alto seco, forman una sola clase o grupo, donde el varillal alto seco es el que presenta el mayor número de árboles.

Al ser los bosques tropicales, ecosistemas que nos brindan muchos beneficios esenciales para la vida humana (80 p14) y como tales, poseen una

alta diversidad biológica, se constituyen en el hábitat de muchas especies de fauna silvestre, los que a su vez contribuyen en la polinización y control de plagas, y, algo muy importante es que nos brindan los servicios ecosistémicos como son, el mantenimiento de la humedad y su aporte al ciclo de agua (80 p14) dentro de la gran diversidad de estos servicios y; con la finalidad de relacionar el volumen de agua con el estado de conservación de los bosques estudiados, se utilizaron 13 indicadores (75). El resultado de la evaluación de estos 13 indicadores se observa en la tabla 5, donde, el bosque primario de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana cuenta con la mayoría de indicadores con valores máximos, lo que indica que el estado de conservación es bueno. En cambio, los bosques de varillal alto húmedo, varillal alto seco y el bosque intervenido del Arboretum el Huayo da como resultado que, la conservación de sus bosques es regular, donde algunos indicadores como la abundancia de familias indicadoras, especies amenazadas y condiciones externas tuvieron valores bajos, lo que incidió para que no llegaran a tener un alto valor.

En la misma tabla 5, se puede observar la contribución del volumen de agua a la conservación y vemos que es directamente proporcional, por cuanto a mayor volumen de agua por hectárea, el estado de conservación es mayor, en la que el bosque primario de la RNAM presenta un mayor volumen de agua, presencia mínima de daños y escasa presencia de lianas, dando como resultado el tener un estado bueno de conservación; mientras que los otros tres bosques tienen volúmenes menores y muy similares, pero a la vez, menores que el bosque primario, dando como resultado el de tener un estado de conservación regular.

En la tabla 6, se tiene el resumen del volumen de agua por ha en cada tipo de bosque versus el estado de conservación de los bosques en la que se puede observar la relación directa de la contribución del volumen de agua a la conservación de los bosques; donde, a mayor volumen de agua por hectárea, se tiene mejor estado de conservación de los bosques, de allí que se puedan tomar las medidas para que estos bosques puedan mejorar su estado de conservación en la lucha que llevan los diferentes estados a nivel mundial sobre el cambio climático y la deforestación acelerada que se viene observando. Por ello, la mirada que se tiene que hacer en estos tiempos, es

con un enfoque sistémico y de grandes paisajes forestales manejados de manera integrada; dado que “los bienes y servicios que nos proporcionan son amplios y diversos, que incluyen la protección de cuencas altas, tierras frágiles y márgenes de ríos y orillas; en los cuales cumplen un papel fundamental en reducir el riesgo de desastres y la severidad de los impactos por fenómenos naturales (80 p16). La forma en que manejemos nuestros bosques nos permitirá ver la adaptación al cambio climático y su capacidad de resiliencia y, desde ya, el Perú viene asumiendo este compromiso a través del MINAM, con la creación del Programa Nacional de Conservación de Bosques para la Mitigación del Cambio Climático (PNCB) (80 p19) y, en el contexto del apoyo al cumplimiento de la Declaración de Río Branco de la Iniciativa Internacional Noruega sobre el Clima y los Bosques (NICFI) al Grupo de Trabajo de Gobernadores sobre el Clima y los Bosques (GCF-TF) es que, el Gobierno Regional de Loreto, al igual que las demás regiones amazónicas, ha elaborado y aprobado la “Estrategia regional de desarrollo rural bajo en emisiones de Loreto”, la cual se encuentra en proceso de implementación y se constituye en una política pública, el cual cuenta con cuatro grandes objetivos estratégicos: a) conservar los bosques amazónicos de Loreto adoptando medidas frente al cambio climático, b) lograr el desarrollo productivo del área rural, que genera empleo y bienestar en armonía con la naturaleza, c) mejorar la calidad de vida de la población de Loreto, asegurando el respeto a los derechos de los pueblos indígenas y de las poblaciones rurales vinculados al bosque, con un enfoque territorial sostenible, intercultural y de género, d) mejorar la gobernanza del territorio de Loreto con un enfoque de producción, protección e inclusión (81).

## CAPÍTULO VI: PROPUESTA

En consideración de los resultados, conclusiones y recomendaciones derivados de la presente investigación, la cual nos muestra el estado de los bosques tropicales amazónicos, los cuales enfrentan una alarmante deforestación y amenazan con su desaparición, se plantea una propuesta urgente y fundamentada en un enfoque filosófico de paisaje. Esta perspectiva permitirá abordar el desafío del cambio climático global y continuar posicionando estos ecosistemas como referentes invaluable de investigación y conservación forestal. Dentro de esta propuesta, se pone en consideración diversas áreas de estudio ecosistémico, incluyendo propiedades físicas, químicas, mecánicas e hidráulicas de la madera, adaptación de los árboles al cambio climático, proyecciones de producción de madera y la interacción de las especies tropicales con elementos internos y externos, particularmente su relación con la evapotranspiración y el ciclo hidrológico en los bosques.

De los resultados obtenidos bajo un enfoque ecosistémico, que demuestran cómo los árboles de los bosques tropicales amazónicos contribuyen a su propia conservación al almacenar agua en su estructura para su posterior utilización en procesos esenciales, como la fotosíntesis, evapotranspiración y regulación del ciclo hidrológico, se proponen las siguientes acciones:

1. Conservación del Bosque Primario de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana. Se reconoce el alto valor en la protección de este bosque primario, que ha sido catalogado como una Reserva Nacional con un estado de conservación del 81.9%. Se propone continuar conservando este espacio de bosque de manera integral y promover un manejo sostenible de sus recursos, especialmente en las zonas de uso directo. Esto no solo mejorará los indicadores de biodiversidad, sino que también facilitará el desarrollo sostenible de las comunidades asentadas en y alrededor de la RNAM.
2. Manejo Sostenible del Bosque Varillal Alto Seco. Dado que el bosque varillal alto seco es un ecosistema frágil debido a sus condiciones particulares, como suelos arenosos, alta permeabilidad

y actividades humanas, con un estado de conservación del 67.5%, se propone que la academia, en colaboración con la autoridad regional, desarrolle y apruebe directrices para el aprovechamiento sostenible de la madera en esta área. Se insta a los pobladores a implementar planes de manejo simplificados y a promover el uso sostenible de los recursos naturales tanto para fines productivos como de subsistencia. Además, se sugiere la ejecución de proyectos de restauración de áreas degradadas para expandir la superficie forestal, con el objetivo de lograr el desarrollo sostenible de estos bosques y sus comunidades locales, manteniendo un alto nivel de conservación.

3. Enriquecimiento de los Bosques Intervenidos en el Área de Influencia del Arboretum el Huayo y el Bosque Varillal Alto Húmedo. Estos bosques, que presentan un estado de conservación regular con puntuaciones del 66.3% y 68.8%, respectivamente, se benefician de una propuesta para enriquecer las tierras forestales en zonas previamente degradadas. Esto permitirá la expansión de áreas conservadas que, con el tiempo, estarán disponibles para su uso por parte de la comunidad universitaria con fines educativos, ambientales, turísticos y de investigación. Asimismo, se propone gestionar ante el Servicio Nacional de Áreas Naturales Protegidas (SERNANP) la declaración permanente de los bosques ubicados en las instalaciones del CIEFOR Puerto Almendras, es decir, el bosque intervenido Arboretum el Huayo y el bosque varillal alto húmedo, como Áreas de Conservación Privada.

## CAPÍTULO VII: CONCLUSIONES

Este estudio sobre la variabilidad del almacenamiento de agua en diferentes tipos de bosques tropicales amazónicos, así como su contribución al estado de conservación de estos ecosistemas, presenta las siguientes conclusiones:

1. El volumen de agua almacenada en los bosques tropicales varía significativamente según el tipo de bosque. El bosque primario de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana (RNAM) sobresale al presentar el mayor volumen de agua por hectárea, seguido por el Bosque Intervenido Arboretum el Huayo. Un enfoque de importancia de la conservación de los bosques primarios para mantener un adecuado ciclo hidrológico.
2. Los bosques amazónicos estudiados muestran una alta diversidad de especies y familias de árboles. La RNAM destaca por su riqueza biológica, lo que resalta la necesidad de conservar estos bosques primarios como reservorios de biodiversidad.
3. Se ha identificado que ciertas familias de árboles, como las Euphorbiaceae y las Moraceae, desempeñan un papel importante en el almacenamiento de agua en los bosques estudiados. De aquí la relevancia de comprender las interacciones entre especies y su contribución al ciclo hidrológico.
4. Se ha observado una relación inversa entre la densidad de la madera de los árboles y el volumen de agua almacenada. Esto sugiere que los árboles con menor densidad de madera tienen una mayor capacidad para retener agua, lo que podría tener implicancias importantes para la gestión forestal sostenible.
5. Se ha establecido una relación significativa entre el volumen de agua por hectárea y el estado de conservación de los bosques amazónicos. Los bosques con un mayor volumen de agua tienden a estar en mejores condiciones de conservación.

## CAPÍTULO VIII: RECOMENDACIONES

1. Dado que los bosques primarios, como el de la Reserva Nacional Allpahuayo Mishana (RNAM), almacenan el mayor volumen de agua y están en mejor estado de conservación, se recomienda enfocar los esfuerzos de conservación en la protección de estos bosques. Esto puede incluir la creación de áreas protegidas, la implementación de prácticas de manejo sostenible y la promoción de la reforestación con especies nativas en áreas degradadas.
2. Considerando que las diferentes especies de árboles contribuyen de manera única al ciclo del agua en diferentes tipos de bosques amazónicos, se recomienda fomentar la diversidad de especies arbóreas en proyectos de reforestación y restauración ecológica. Esto puede aumentar la resiliencia de los ecosistemas forestales y garantizar un ciclo del agua saludable.
3. La relación inversa entre la densidad de la madera de los árboles y el almacenamiento de agua sugiere que la gestión forestal sostenible debe considerar cuidadosamente el tipo de árboles que se seleccionan para la cosecha. Priorizar la tala de árboles con mayor densidad de madera podría ayudar a mantener un equilibrio en el ciclo hidrológico de los bosques.
4. Fomentar la investigación continua y el monitoreo de los bosques amazónicos en relación con su almacenamiento de agua y su contribución a la conservación. Se deben realizar estudios a largo plazo para comprender mejor cómo los cambios ambientales y climáticos pueden afectar la capacidad de los bosques para retener y liberar agua. Esto ayudará a mejorar las estrategias de conservación y gestión de recursos hídricos, así como a anticipar posibles desafíos futuros en la Amazonia relacionados con la disponibilidad de agua y la salud de los ecosistemas forestales.

## CAPÍTULO IX: REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Blaser J, Sarre A, Poore D, Johnson S. Estado de la Ordenación de los bosques tropicales 2011. ITTO (Organización Int las Maderas Trop. 2011;(38):420.
2. De Oñate R. Caracterización y aprovechamiento de los varillales amazónicos. Contribución a la economía de las comunidades locales. Universidad Politécnica de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid; 2012.
3. Aylward B, Barbier EB. Valuing environmental functions in developing countries. *Biodivers Conserv.* 1992;1(1):34–50.
4. Bruijnzeel LA. Hydrological functions of tropical forests: Not seeing the soil for the trees? Vol. 104, *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2004. 185–228 p.
5. Herrero de Jáuregui C. Gestión integrada de los recursos forestales en la Amazonía Oriental: Ecología de dos especies de uso múltiple. Gestión integrada de los recursos forestales en la Amazonía Oriental: Ecología de dos especies de uso múltiple. Universidad Complutense de Madrid; 2009.
6. Kunert N, Aparecido LMT, Wolff S, Higuchi N, Santos J dos, Araujo AC de, et al. A revised hydrological model for the Central Amazon: The importance of emergent canopy trees in the forest water budget. *Agric For Meteorol* [Internet]. 2017;239(August 2019):47–57. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.agrformet.2017.03.002>
7. Lewis SL, Phillips OL, Baker TR, Lloyd J, Malhi Y, Almeida S, et al. Concerted changes in tropical forest structure and dynamics: Evidence from 50 South American long-term plots. *Philos Trans R Soc B Biol Sci.* 2004;359(1443):421–36.
8. Turner IM. The ecology of trees in the tropical rain forest. *Cambridge Trop Biol Ser.* 2001;314.
9. Muller-Landau HC. Interspecific and Inter-site Variation in Wood Specific Gravity of Tropical Trees1. *Biotropica.* 2004;36(1):20.
10. Osunkoya OO, Sheng TK, Mahmud NA, Damit N. Variation in wood density, wood water content, stem growth and mortality among twenty-seven tree species in a tropical rainforest on Borneo Island. *Austral Ecol.* 2007;32(2):191–201.
11. López Locía M, Valencia Manzo S. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques.* 2016;7(1):37–46.
12. Meinzer FC, Goldstein G, Andrade JL. Regulation of water flux through tropical forest canopy trees: Do universal rules apply? *Tree Physiol.* 2001;21(1):19–26.
13. Oliva Carrasco L, Bucci SJ, Di Francescantonio D, Lezcano OA, Campanello PI, Scholz FG, et al. Water storage dynamics in the main stem of subtropical tree species differing in wood density, growth rate and life history traits. *Tree Physiol.* 2015;35(4):354–65.
14. Liang H, Zhang M, Wang H, Gao C, Zhao Y. Variation Characteristics of Stem Water Content in *Lagerstroemia indica* and Its Response to Environmental Factors. *J Sensors* [Internet]. 2020;2020:10. Available from: <https://doi.org/10.1155/2020/8689272>

15. Martínez Alejandro, Sargent Anne DG, Caballé Gonzalo, Rozenberg Philippe FM. ¿ Qué calidad de madera produciremos en el futuro ?, un análisis sobre los desafíos de integrar valor adaptativo y tecnológico ante un clima. Inst Nac Tecnol Agropecu. 2019;8.
16. Assessment ME. Ecosystems and human well-being: Synthesis [Internet]. Island Press. Washinton DC; 2003. p. 155. Available from: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
17. Boyd J, Banzhaf S. What are ecosystem services? The need for standardized environmental accounting units: Ecological Economics of Coastal Disasters - Coastal Disasters Special Section. Ecol Econ. 2007;63(January):616-626 ST-What are ecosystem services? The nee.
18. Balvanera P. Los servicios ecosistémicos que ofrecen los bosques tropicales. Ecosistemas. 2012;21(1-2):136-47.
19. Anderson-Teixeira KJ, Snyder PK, Twine TE, Cuadra S V., Costa MH, Delucia EH. Climate-regulation services of natural and agricultural ecoregions of the Americas. Nat Clim Chang [Internet]. 2012;2(3):177-81. Available from: <http://dx.doi.org/10.1038/nclimate1346>
20. Ulate C. Análisis y comparación de la biomasa aérea de la cobertura forestal según zona de vida y tipos de bosque para Costa Rica. Tesis de licenciatura. 2011;61.
21. Cejudo E. LOS ÁRBOLES ¿ VERDADEROS DIOSES DE LA LLUVIA ? 2020;(January 2021):5-11. Available from: <https://www.researchgate.net/publication/348235965%0ALOS>
22. Gaviria Flórez J. Manejo del Bosque Secundario Húmedo Tropical. Rev Fac Nac Agron Medellín. 1998;51(1):159-66.
23. Huete AR, Didan K, Shimabukuro YE, Ratana P, Saleska SR, Hutyrá LR, et al. Amazon rainforests green-up with sunlight in dry season. Geophys Res Lett. 2006;33(6):2-5.
24. Woodruff DR, Meinzer FC, Mcculloh KA. Forest Canopy Hydraulics. Canopy photosynthesis: from basics to applications. 2016. 187-217 p.
25. Kaplick J, Clearwater MJ, Macinnis-Ng C. Stem water storage of New Zealand kauri (*Agathis australis*). Acta Hort. 2018;1222(November):59-66.
26. Waring RH, Running SW. Sapwood water storage: its contribution to transpiration and effect upon water conductance through the stems of old-growth Douglas-fir. Plant Cell Environ. 1978;1(2):131-40.
27. Phillips NG, Ryan MG, Bond BJ, McDowell NG, Hinckley TM, Čermák J. Reliance on stored water increases with tree size in three species in the Pacific Northwest. Tree Physiol. 2003;23(4):237-45.
28. Phillips NG, Scholz FG, Bucci SJ, Goldstein G, Meinzer FC. Using branch and basal trunk sap flow measurements to estimate whole-plant water capacitance: Comment on Burgess and Dawson (2008). Plant Soil. 2009;315(1-2):315-24.
29. Čermák J, Kučera J, Bauerle WL, Phillips N, Hinckley TM. Tree water storage and its diurnal dynamics related to sap flow and changes in stem volume in old-growth Douglas-fir trees. Tree Physiol. 2007;27(2):181-98.
30. Scholz FG, Phillips NG, Bucci SJ, Meinzer FC, Goldstein G. Hydraulic Capacitance: Biophysics and Functional Significance of Internal Water Sources in Relation to Tree Size. ResearchGate. 2011;(January

- 2016):341–61.
31. Verslues PE, Agarwal M, Katiyar-Agarwal S, Zhu J, Zhu JK. Methods and concepts in quantifying resistance to drought, salt and freezing, abiotic stresses that affect plant water status. *Plant J.* 2006;45(4):523–39.
  32. Farooq M, Wahid A, Kobayashi N, S.M.A. Fujita DB. Plant drought stress : effects , mechanisms and management To cite this version : Review article. *Agron Sustain Dev.* 2009;29(1):185–212.
  33. Spotts RA. Photosynthesis, Transpiration, and Water Potential of Apple Leaves Infected by *Venturia inaequalis* . *Phytopathology.* 1979;69(7):717.
  34. Patakas A, Noitsakis B, Chouzouri A. Optimization of irrigation water use in grapevines using the relationship between transpiration and plant water status. *Agric Ecosyst Environ.* 2005;106(2-3 SPEC. ISS.):253–9.
  35. Lamprecht H. *Silvicultura en los trópicos.* Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ). Eschborn: Deutsche Gesellschaft für (GTZ) GmbH; 1990. 335 p.
  36. Agricultura M de. *Manual base para la Planificación y Ejecución de Inventarios Forestales en Bosques de Producción Permanente (Versión 1.0).* Lima. Perú; p. 57.
  37. Montero, HL. *Estudio de evaluación del estado de conservación de los ecosistemas de la cuenca del río Cañete.* MINAM, 2007. Lima. Perú: 49
  38. Phillips O, Baker T, Feldpausch T, Roel B. *Manual de campo para el establecimiento y la remediación de parcelas.* Rainfor. 2016;28.
  39. Medio V, Andrea M, Gárzon Carlos S, López A, Medio DP, Gutiérrez S, et al. *Composición Florística Y Dinámica Sucesional De Bosque Primario Y Secundario De 10 y 20 Años En Tres Zonas Representativas Del Valle Medio Del Magdalena, Colombia.* *Colomb For.* 2000;6(13):37–51.
  40. Gadow K, Sánchez-Orois S, Álvarez-González JG. *Estructura y Crecimiento del Bosque [Internet].* Vol. 2, Universidad de .... 2007. 140–147 p. Available from: [http://www.iwww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura\\_y\\_crecimiento\\_del\\_bosque.pdf](http://www.iwww.forst.uni-goettingen.de/doc/kgadow/lit/kvgestructura_y_crecimiento_del_bosque.pdf).
  41. Wullschleger SD, Hanson PJ, Todd DE. Measuring stem water content in four deciduous hardwoods with a time- domain reflectometer. *Tree Physiol.* 1996;16(10):809–15.
  42. Tamarit-Urias J. *Parámetros de humedad de 63 maderas latifoliadas mexicanas en función de su densidad básica.* *Rev Chapingo Ser Ciencias For y del Ambient.* 2003;9(2):155–64.
  43. Simpson W, TenWolde A. *Physical properties and moisture relations of wood. Wood Handb wood as an Eng Mater [Internet].* 1992;25. Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.25.6078>
  44. Simpson WT. *Specific Gravity , Moisture Content , and Density Relationship for Wood. Gen Tech Rep FPLGTR76 Madison WI US Dep Agric For Serv For Prod Lab 13 p [Internet].* 1993;Gen. Tech.:16. Available from: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.155.4926&rep=rep1&type=pdf>
  45. Stratton L, Goldstein G, Meinzer FC. Stem water storage capacity and efficiency of water transport: Their functional significance in a Hawaiian dry forest. *Plant, Cell Environ.* 2000;23(1):99–106.
  46. Santiago LS, Goldstein G, Meinzer FC, Fisher JB, Machado K, Woodruff

- D, et al. Leaf photosynthetic traits scale with hydraulic conductivity and wood density in Panamanian forest canopy trees. *Oecologia*. 2004;140(4):543–50.
47. Köcher P, Horna V, Leuschner C. Stem water storage in five coexisting temperate broad-leaved tree species: Significance, temporal dynamics and dependence on tree functional traits. *Tree Physiol*. 2013;33(8):817–32.
  48. Instituto Nacional de Estadística e Informática. ¿Qué es la teoría general de sistemas? Colección cultura informática. Lima-Perú. p48.
  49. Antonio Flórez, Javier Thomas. Cuadernos de Geografía.Vol. IV. N° 1-2, (111-137).1993.
  50. MORIN, Edgar. El método. I. La naturaleza de la naturaleza. SEUIL, Paris. Trad. Española de Ed. Cátedra, Madrid. 1977.
  51. ROSNAY, Jól. Le macroscopie. Vers une vision globale. Seuil, Paris, 1975. 249p.
  52. Ranzinkov, Oleg.Diccionario de filosofía, Editorial Progreso, Moscú. 1980
  53. Martínez, Jesús. El enfoque de sistemas aplicado a la organización de la formación profesional en México, Cuaderno de planeación universitaria, Ciudad de México.1990.
  54. Arnold, Marcelo y Osorio Francisco Osorio, M.A. Introducción a los Conceptos Básicos de la Teoría General de Sistemas. Cinta de Moebio. N°3. abril de 1998. Facultad de Ciencias Sociales. Universidad de Chile.
  55. Santana VH, Martínez JF, Morán C, Cano A. Medición Del Contenido De Agua En Árboles Con Tdr: Aplicación a Dos Especies Mediterráneas Y Comparación Con Experiencias Previas. *Estud la Zo No Saturada del Suelo*. 2007;VIII(V):95–100.
  56. Irvine J, Grace J. Non-destructive measurement of stem water content by time domain reflectometry using short probes. *J Exp Bot*. 1997;48(308):813–8.
  57. Fearnside PM. Wood density for estimating forest biomass in Brazilian Amazonia. *For Ecol Manage*. 1997;90(1):59–87.
  58. Nelson BW, Mesquita R, Pereira JLG, Garcia Aquino De Souza S, Teixeira Batista G, Bovino Couto L. Allometric regressions for improved estimate of secondary forest biomass in the central Amazon. *For Ecol Manage*. 1999;117(1–3):149–67.
  59. Wiemann MC, Williamson GB. Geographic variation in wood specific gravity: Effects of latitude, temperature, and precipitation. *Wood Fiber Sci*. 2002;34(1):96–107.
  60. Turner NC, Waggoner PE. Effects of Changing Stomatal Width in A Red Pine Forest on Soil Water Content, Leaf Water Potential, Bole Diameter, and Growth. *Plant Physiol*. 1968;43(6):973–8.
  61. Parolin P, Müller E, Junk WJ. Water relations of amazonian várzea trees. *Int J Ecol Environ Sci*. 2005;31(4):361–4.
  62. León Hernández W. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Rev For Venez*. 2010;54(February 2010):67–76.
  63. Scholz FG, Bucci SJ, Goldstein G, Meinzer FC, Franco AC, Miralles-Wilhelm F. Temporal dynamics of stem expansion and contraction in savanna trees: Withdrawal and recharge of stored water. *Tree Physiol*. 2008;28(3):469–80.
  64. Chave J. Medición de densidad de madera en árboles tropicales. Manual

- de campo. PAN AMAZONIA; 2006. p. 7.
65. FAO. Actualización de la Evaluación de los Recursos Forestales Mundiales a 2005. Roma: Programa de Evaluación de los Recursos Forestales; 2004. p. 36.
  66. Ribeiro N, Siteo AA, Guedes BS, Staiss C. Manual de Silvicultura Tropical. Rev do Inst Med Trop S. 2002;1(4):125.
  67. Córdoba Foglia R. Conceptos básicos sobre el secado de la madera. Rev For Mesoam Kurú. 2005;2(5):88–92.
  68. Ugalde L. Conceptos\_basicos\_de\_dasometria.pdf [Internet]. Vol. 3. 1981. p. 31. Available from: [http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/886/Conceptos\\_basicos\\_de\\_dasometria.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://201.207.189.89/bitstream/handle/11554/886/Conceptos_basicos_de_dasometria.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
  69. Mendoza Rodríguez RE. Bosques que dan para vivir. Iquitos: Varillal; 2007.
  70. Palacios J, Zárate R, Torres-Reyna G, Denux JP, Maco-García JT, Gallardo GP, et al. Mapeo De Los Bosques Tipo Varillal Utilizando Imágenes De Satélite Rapideye En La Provincia Maynas, Loreto, Perú. Folia Amaz. 2016;25(1):25.
  71. Johannsen, O. Introducción a la Teoría General de Sistemas. Facultad de Economía y Administración. Universidad de Chile. 1975.
  72. Bertalanffy Von, L. Teoría General de los Sistemas. Editorial Fondo de Cultura Económica. México. 1976 p137
  73. Buckley, W. La Sociología y la Teoría Moderna de los Sistemas. Editorial Amorrortu. Buenos Aires. 1973 p98
  74. R Core Team. 2020. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Consultado 20 jul. 2021. Disponible en <http://www.R-project.org>
  75. Instituto Nacional de Bosques-INAB. Manual de criterios y parámetros del INAB. 2020. Nueva Guatemala de la Asunción. 103p
  76. Tello Espinoza, R. Estructura, composición, crecimiento y potencial del bosque aluvial del río Nanay. Tesis para optar el grado de Doctor en Ciencias Ambientales. Universidad Nacional de Trujillo. 2007-2008. Trujillo. p126.
  77. Panduro Tejada, RM. Estructura, crecimiento, composición florística y potencial forestal del bosque varillal alto seco en la Reserva Nacional Allpahuayo - Mishana. Iquitos-Perú, con fines de manejo sostenible, 2007-2008. Tesis para optar el grado de doctor en ciencias ambientales. Universidad Nacional de Trujillo. p75.
  78. Mendoza, E. Varillal, Bosques que dan para vivir. IIAP, Proyecto BIODAMAZ, Iquitos. 2007.
  79. García, R; M. Reátegui y M. Zumaeta. Clasificación de bosques sobre arena blanca de la zona reservada Allpahuayo Mishana. Instituto de Investigación de la Amazonia Peruana. Iquitos – Perú. 2003.
  80. Ministerio del Ambiente. La conservación de bosques en el Perú. (2011-2016). Conservando los bosques en un contexto de cambio climático como aporte al crecimiento verde. Informe sectorial 11. Primera edición, 2016. Lima, Perú. p180.
  81. Gobierno Regional de Loreto. Estrategia regional de desarrollo rural bajo en emisiones de Loreto. Tomo I.2021. Iquitos-Perú. p180.

# **ANEXOS**

**Anexo 1. Promedio del volumen de agua de los cuatro bosques por repetición.**

<b>Tipo de Bosque</b>	<b>Repetición</b>	<b>H2Om<sup>3</sup>/ha</b>
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	1	87.879
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	2	55.473
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	3	142.212
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	4	95.051
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	5	141.509
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	6	167.313
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	7	106.002
Bosque Intervenido Arboretum el Huayo	8	147.274
<b>Promedio</b>		<b>117.839</b>
Bosque Primario de la RNAM	1	249.187
Bosque Primario de la RNAM	2	218.999
Bosque Primario de la RNAM	3	200.980
Bosque Primario de la RNAM	4	155.611
Bosque Primario de la RNAM	5	129.545
Bosque Primario de la RNAM	6	193.844
Bosque Primario de la RNAM	7	129.950
Bosque Primario de la RNAM	8	329.756
<b>Promedio</b>		<b>200.984</b>
Varillal Alto Húmedo	1	98.512
Varillal Alto Húmedo	2	87.480
Varillal Alto Húmedo	3	102.599
Varillal Alto Húmedo	4	134.441
Varillal Alto Húmedo	5	130.198
Varillal Alto Húmedo	6	105.346
Varillal Alto Húmedo	7	104.044
Varillal Alto Húmedo	8	167.078
<b>Promedio</b>		<b>116.212</b>
Varillal Alto Seco	1	98.748
Varillal Alto Seco	2	85.838
Varillal Alto Seco	3	122.269
Varillal Alto Seco	4	128.112
Varillal Alto Seco	5	147.056
Varillal Alto Seco	6	163.551
Varillal Alto Seco	7	116.060
Varillal Alto Seco	8	79.490
<b>Promedio</b>		<b>117.640</b>

## **Anexo 2. Pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza.**

### **Anexo 2.1. Prueba de Shapiro-Wilks para normalidad**

Variable	n	Media	D.E.	W*	p(Unilateral D)
H2Om <sup>3</sup> /ha	32	0	40.97	0.96	<b>0.5629</b>

Se cumple con el supuesto de normalidad, al obtener un p-valor superior a 0.05.

### **Anexo 2.2. Prueba de Levene de homogeneidad de la varianza (centro = mediana)**

	Df	F value	Pr(>F)
group	3	2.0863	<b>0.1246</b>
	28		

Se cumple con el supuesto de homogeneidad de la varianza, al obtener un p-valor superior a 0.05.

**Anexo 3. Promedio de volumen de agua por familia en el bosque intervenido Arboretum el Huayo**

<b>FAMILIAS</b>	<b>H<sub>2</sub>O m<sup>3</sup>/ha</b>
Euphorbiaceae	21.738
Moraceae	15.534
Fabaceae	14.633
Urticaceae	12.734
Anacardiaceae	12.137
Lecythidaceae	7.415
Myristicaceae	6.708
Apocynaceae	6.416
Sapotaceae	5.046
Burseraceae	4.995
Lauraceae	2.700
Annonaceae	1.258
Simaroubaceae	1.251
Chrysobalanaceae	0.881
Rubiaceae	0.840
Melastomataceae	0.652
Boraginaceae	0.441
Salicaceae	0.404
Arecaceae	0.364
Caryocaraceae	0.359
Violaceae	0.293
metteniusaceae	0.280
Meliaceae	0.205
Araliaceae	0.146
Elaeocarpaceae	0.098
Sapindaceae	0.088
Malvaceae	0.067
Humiriaceae	0.053
Siparunaceae	0.050
Sabiaceae	0.033
Myrtaceae	0.014
Bignoniaceae	0.004
<b>TOTAL</b>	<b>117.839</b>

**Anexo 4. Promedio de volumen de agua por familia en el bosque primario de la RNAM.**

<b>FAMILIAS</b>	<b>H<sub>2</sub>O m<sup>3</sup>/ha</b>
Fabaceae	31.516
Malvaceae	26.011
Myristicaceae	21.251
Moraceae	20.445
Euphorbiaceae	19.274
Lauraceae	10.106
Apocynaceae	9.874
Areaceae	9.434
Chrysobalanaceae	8.512
Humiriaceae	7.569
Sapotaceae	5.554
Urticaceae	5.222
Annonaceae	4.231
Lecythidaceae	3.876
Burseraceae	2.283
Olacaceae	2.165
Myrtaceae	1.917
Rubiaceae	1.463
Elaeocarpaceae	1.401
Vochysiaceae	1.374
Meliaceae	1.311
Malpighiaceae	1.043
Nyctaginaceae	0.793
Violaceae	0.659
Anacardiaceae	0.623
Melastomataceae	0.530
Celastraceae	0.436
Bignoniaceae	0.412
Cardiopteridaceae	0.316
Combretaceae	0.280
Araliaceae	0.243
Pentaphylacaceae	0.211
Salicaceae	0.168
Lacistemataceae	0.085
Menispermaceae	0.077
Icacinaceae	0.075
Lamiaceae	0.074
Polygonaceae	0.047
Clusiaceae	0.040
Dichapetalaceae	0.031
Rosaceae	0.029
Sapindaceae	0.024
<b>TOTAL</b>	<b>200.984</b>

**Anexo 5. Promedio de volumen de agua por familia en un bosque varillal alto húmedo.**

<b>FAMILIA</b>	<b>H2Om3/ha</b>
Euphorbiaceae	22.407
Moraceae	16.815
Anacardiaceae	11.576
Urticaceae	10.317
Arecaceae	10.287
Myristicaceae	8.747
Fabaceae	5.361
Burseraceae	5.260
Rubiaceae	3.919
Lauraceae	3.012
Apocynaceae	2.962
Annonaceae	2.587
Lecythidaceae	2.138
Clusiaceae	1.721
Chrysobalanaceae	1.496
Humiriaceae	1.272
Meliaceae	1.241
Vochysiaceae	1.167
Sapotaceae	0.777
Elaeocarpaceae	0.612
Melastomataceae	0.459
Myrtaceae	0.361
Olacaceae	0.279
Malvaceae	0.269
Ochnaceae	0.261
Araliaceae	0.186
Combretaceae	0.184
Bignoniaceae	0.170
Sabiaceae	0.141
Malpighiaceae	0.081
Bignoniaceae	0.073
Salicaceae	0.064
Loganiaceae	0.038
Violaceae	0.032
Sapindaceae	0.012
<b>TOTAL</b>	<b>116.286</b>

**Anexo 6. Promedio de volumen de agua por familia en el bosque varillal alto seco.**

<b>FAMILIA</b>	<b>H<sub>2</sub>O m<sup>3</sup>/ha</b>
Fabaceae	51.232
Malvaceae	10.592
Calophyllaceae	8.665
Moraceae	7.436
Metteniusaceae	6.665
Myristicaceae	4.307
Clusiaceae	3.975
Lauraceae	3.081
Apocynaceae	2.943
Annonaceae	2.174
Burseraceae	1.891
Chrysobalanaceae	1.810
Ebenaceae	1.589
Pentaphylacaceae	1.516
Elaeocarpaceae	1.312
Euphorbiaceae	1.230
Sapotaceae	1.138
Araliaceae	1.100
Humiriaceae	1.031
Arecaceae	0.728
Rubiaceae	0.612
Olacaceae	0.465
Simaroubaceae	0.407
Caryocaraceae	0.349
Linaceae	0.172
Myrtaceae	0.162
Malpighiaceae	0.137
Loganiaceae	0.132
Rosaceae	0.129
Icacinaceae	0.122
Vochysiaceae	0.121
Anacardiaceae	0.120
Nyctaginaceae	0.118
Burseraceae	0.105
Bignoniaceae	0.073
<b>TOTAL</b>	<b>117.640</b>

**Anexo 7. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en el bosque intervenido del Arboretum el Huayo.**

<b>N°</b>	<b>Especies</b>	<b>H<sub>2</sub>O m<sup>3</sup>/ha</b>
1	<i>Alchornea triplinervia</i>	15.721
2	<i>Brosimum utile</i>	13.158
3	<i>Tapirira retusa</i>	9.893
4	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	5.641
5	<i>Pourouma tomentosa</i>	5.584
6	<i>Couma macrocarpa</i>	5.503
7	<i>Pourouma minor</i>	4.025
8	<i>Bertholletia excelsa</i>	2.856
9	<i>Micrandra spruceana</i>	2.668
10	<i>Ecclinusa lanceolata</i>	2.476
11	<i>Eschweilera grandiflora</i>	2.383
12	<i>Tapirira guianensis</i>	2.244
13	<i>Chrysophyllum prieurii</i>	2.212
14	<i>Pourouma mollis</i>	1.708
15	<i>Virola elongata</i>	1.682
16	<i>Tetragastris panamensis</i>	1.666
17	<i>Eschweilera coriacea</i>	1.413
18	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	1.254
19	<i>Hyeronima oblonga</i>	1.157
20	<i>Iryanthera polyneura</i>	1.155
21	<i>Inga gracilifolia</i>	1.148
<b>Sub Total de 21 especies</b>		<b>85.546</b>
<b>Subtotal de las otras 110 especies</b>		<b>31,843</b>

**Anexo 8. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en un bosque primario de la RNAM.**

Nº	Especies	H <sub>2</sub> O m <sup>3</sup> /ha
1	<i>Cavanillesia umbellata</i>	23.314
2	<i>Tachigali paniculata</i>	9.726
3	<i>Brosimum parinarioides</i>	8.126
4	<i>Micrandra spruceana</i>	7.489
5	<i>Aspidosperma desmanthum</i>	6.836
6	<i>Licania brittoniana</i>	6.429
7	<i>Anaueria brasiliensis</i>	6.000
8	<i>Humiria balsamifera</i>	5.816
9	<i>Virola duckei</i>	5.814
10	<i>Mauritia flexuosa</i>	5.060
11	<i>Micrandra elata</i>	4.962
12	<i>Brosimum utile</i>	4.626
13	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	3.918
14	<i>Hymenaea palustris</i>	3.857
15	<i>Vatairea erythrocarpa</i>	3.688
16	<i>Oenocarpus bataua</i>	3.448
17	<i>Nealchornea yapurensis</i>	2.962
18	<i>Brosimum rubescens</i>	2.469
19	<i>Iriartea deltoidea</i>	2.405
20	<i>Virola pavonis</i>	2.266
21	<i>Cecropia sciadophylla</i>	2.022
<b>Sub total de 21 especies</b>		<b>121.231</b>
<b>Sub total de las otras 224 especies</b>		<b>79.753</b>

**Anexo 9. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en el bosque varillal alto húmedo.**

<b>N°</b>	<b>Etiquetas de fila</b>	<b>H2Om<sup>3</sup>/ha</b>
1	<i>Alchornea triplinervia</i>	13.537
2	<i>Brosimum utile</i>	11.686
3	<i>Mauritia flexuosa</i>	9.579
4	<i>Tapirira guianensis</i>	7.082
5	<i>Pourouma tomentosa</i>	6.171
6	<i>Tapirira retusa</i>	4.495
7	<i>Hevea pauciflora</i>	4.175
8	<i>Ladenbergia amazonensis</i>	3.332
9	<i>Micrandra spruceana</i>	2.412
10	<i>Virola duckei</i>	2.200
11	<i>Pourouma minor</i>	2.125
12	<i>Couma macrocarpa</i>	1.669
13	<i>Iryanthera grandis</i>	1.214
14	<i>Hevea guianensis</i>	1.185
15	<i>Eschweilera tessmannii</i>	1.177
16	<i>Virola pavonis</i>	1.132
17	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	1.122
18	<i>Aniba perutilis</i>	1.101
19	<i>Helicostylis tomentosa</i>	1.077
20	<i>Perebea xanthochyma</i>	1.042
21	<i>Inga tessmannii</i>	0.968
<b>Sub total de 21 especies</b>		<b>78.481</b>
<b>Sub total de las otras 158 especies</b>		<b>37.805</b>

**Anexo 10. Especies con mayor promedio volumen de agua por hectárea en un bosque varillal alto seco.**

N°	Especies	H <sub>2</sub> O m <sup>3</sup> /ha
1	<i>Dicymbe uaiparuensis</i>	14.846
2	<i>Pachira brevipes</i>	10.592
3	<i>Metteniusa tessmanniana</i>	6.665
4	<i>Tachigali formicarum</i>	5.355
5	<i>Caraipa utilis</i>	5.126
6	<i>Brosimum utile</i>	4.526
7	<i>Tachigali tessmannii</i>	3.991
8	<i>Parkia igneiflora</i>	3.576
9	<i>Caraipa tereticaulis</i>	3.539
10	<i>Vatairea erythrocarpa</i>	3.483
11	<i>Virola duckei</i>	3.351
12	<i>Hymenolobium nitidum</i>	3.193
13	<i>Tachigali poeppigiana</i>	2.823
14	<i>Calophyllum longifolium</i>	2.741
15	<i>Macrolobium microcalyx</i>	2.222
16	<i>Dipterex micrantha</i>	1.935
17	<i>Aspidosperma schultesii</i>	1.828
18	<i>Dicymbe stipitata</i>	1.671
19	<i>Clarisia biflora</i>	1.594
20	<i>Lissocarpa katingae</i>	1.589
21	<i>Ternstroemia klugiana</i>	1.516
<b>Sub total de 21 especies</b>		<b>86.163</b>
<b>Sub total de las otras 109 especies</b>		<b>31.477</b>

## Anexo 11. Indicadores para evaluar el estado de conservación de los bosques tropicales.

Las tablas de indicadores a utilizar en la presente investigación son las siguientes:

### Indicador 1: Regeneración natural.

Regeneración	Características	Condición	Calificación	Valor
	No tiene regeneración natural	No aceptable	0	
	Escasa regeneración natural	Intermedia	1	
	Abundante regeneración natural	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

### Indicador 2: Familias forestales indicadoras.

Familias forestales indicadoras	Número de familias	Descripción/definición	Calificación	Valor
	0	No aceptable	0	
	1-2	Pobre	1	
	3-4	Buena	3	
	>5	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

### Indicador 3: Abundancia relativa de familias indicadoras.

Abundancia relativas de Familias forestales indicadoras	% de géneros	Descripción/definición	Calificación	Valor
	0	No aceptable	0	
	1-25%	Pobre	1	
	26 a 50%	Regular	2	
	51 a 75%	Buena	4	
	>75%	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

### Indicador 4: Especies amenazadas.

Especies amenazadas	Número de especies	Descripción/definición	Calificación	Valor
	0 a 2	Pobre	1	
	3 a 5	Muy baja	2	
	6 a 7	Intermedia	3	
	8 a 10	Alta	4	
	>10	Muy alta	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 5:** Cobertura forestal.

Cobertura forestal	% de cobertura	Descripción/definición	Calificación	Valor
<4,94	10 a 25	Muy pobre	1	
4,94 a 13,72	26 a 50	Pobre	2	
13,72 a 22,67	51 a 75	Regular	3	
22,67 a 34,60	76 a 90	Buena	4	
>34,60	>90	Muy buena	5	Excesiva

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 6:** Cobertura vegetal (únicamente para Bosque seco) No aplica.**Indicador 7:** Condiciones del Entorno (condiciones externas).

Condiciones del Entorno	Característica	Condición	Calificación	Valor
	Evidencia de mucha extracción de madera y leña	No aceptable	0	
	Extracción moderada de madera y leña	Poco aceptable	2	
	Sin evidencias de extracción de madera y leña	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 8:** Extracción de madera y leña (condiciones internas).

Condiciones internas	Característica	Condición	Calificación	Valor
	Evidencia de mucha extracción de madera y leña	No aceptable	0	
	Extracción moderada de madera y leña	Poco aceptable	2	
	Sin evidencias de extracción de madera y leña	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 9:** Caminos, senderos y canales.

Caminos, senderos y canales	Característica	Condición	Calificación	Valor
	Presencia de muchos senderos y caminos	No aceptable	0	
	Algunos senderos y caminos	Regular	2	
	Sin senderos y caminos	Bueno	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 10:** Incendios forestales.

<b>Incendios forestales</b>	<b>Característica</b>	<b>Condición</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
	Muchos incendios y frecuentes	No aceptable	0	
	Incendios pocos frecuentes	Intermedia	2	
	Ningún incendio	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 11:** Flora asociada.

<b>Flora Asociada</b>	<b>Presencia</b>	<b>Condición</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
	0 grupos	No aceptable	0	
	1 grupos	Pobre	1	
	2 grupos	Regular	3	
	3 grupos	Buena	4	
	4 grupos	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 12:** Fauna.

<b>Fauna</b>	<b>Característica</b>	<b>Importancia</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
	Fauna en peligro de extinción	Muy alta	3	
	Fauna endémica o vulnerable	Muy alta	2	
	Fauna representativa del bosque	Alta	1	
	Sin evidencia de fauna	Nula	0	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 13:** Número de estratos.

<b>Número de estratos</b>	<b>Presencia</b>	<b>Condición</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
	1 estrato	Pobre	1	
	2 estratos	Buena	3	
	3 estratos o mas	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Indicador 14:** Clases diamétricas.

<b>Clases diamétricas</b>	<b>Presencia</b>	<b>Condición</b>	<b>Calificación</b>	<b>Valor</b>
	1 a 2 clases	Pobre	0	
	3 a 4 clases	Intermedia	2	
	5 a 6 clases	Buena	4	
	7 clases a mas	Muy buena	5	

Fuente: adaptado de Celedonio López Peña

**Anexo 12. Promedio de la valoración por indicador y tipo de bosque para determinar el grado de conservación.**

Indicadores	Descripción	Tipo de bosque			
		Varrilal alto húmedo	Varillal alto seco	Intervenido Arboretum el Huayo	Primario RNAM
1	RRNN	5	5	5	5
2	Familia indicadora	3,5	1	3	4,5
3	Abundancia de familias indicadoras	1,4	1,0	1,6	1,4
4	Especies amenazadas	1	1	1	1
5	Cobertura forestal	4,0	5,0	4,0	4,0
7	Condiciones externas (extracción de madera y leña)	2	2	2	5
8	Condiciones internas (extracción de madera y leña)	5	5	2	5
9	Caminos, senderos y canales	2	5	5	5
10	Incendios forestales	5	5	5	5
11	Flora asociada	3	3	5	5
12	Fauna	1	1	1	1
13	Número de estratos	5	5	5	5
14	Clases diamétricas	4,0	4,0	4,0	5,0
<b>Valor total</b>		41,8	42,5	43,4	51,6
<b>%total</b>		66,3	67,5	68,8	81,9
<b>Estado de conservación</b>		Regular	Regular	Regular	<b>Bueno</b>
<b>VH2O/ha</b>		116,212	117,640	117,839	200,984
<b>N°arb/ha</b>		612	922	343	686

**Anexo 13. Número de árboles por hectárea y clase diamétrica.**

Bosque	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	Total
<b>Bosque intervenido</b>														
Arboretum el Huayo	181	84	49	13	8	3	1	3	0	1	0	0	0	343
<b>Bosque primario</b>														
RNAM	420	145	58	24	21	10	3	0	1	3	1	0	0	686
<b>Varillal alto húmedo</b>														
Varillal alto húmedo	426	110	59	8	4	4	1	0	0	0	0	0	0	612
<b>Varillal alto seco</b>														
Varillal alto seco	675	178	46	13	5	1	4	0	0	0	0	0	0	922



## Anexo 15. Relación de daños y lianas con el estado de conservación.

Tipo_bosque	FAJA	CE	Arboles	% Daños	% Lianas	Esp	Fam	Estado de conservación
Varillal alto húmedo	1	73,3	62	1,61	17,74	43	22	Regular
Varillal alto húmedo	2	95,3	63	0,00	20,63	50	20	Regular
Varillal alto húmedo	3	75,5	61	0,00	9,84	46	21	Regular
Varillal alto húmedo	4	78,5	57	0,00	12,28	41	18	Regular
Varillal alto húmedo	5	75,7	69	0,00	14,49	49	20	Regular
Varillal alto húmedo	6	83,2	56	0,00	25,00	41	19	Regular
Varillal alto húmedo	7	68,3	67	0,00	19,40	48	21	Regular
Varillal alto húmedo	8	57,2	54	1,85	20,37	36	15	Regular
Bosque arboretum	1	62,9	25	44,00	0,00	19	11	Regular
Bosque arboretum	2	70,9	26	19,23	15,38	22	14	Regular
Bosque arboretum	3	84,5	32	6,25	6,25	28	14	Regular
Bosque arboretum	4	64,0	27	3,70	14,81	23	13	Regular
Bosque arboretum	5	73,8	41	2,44	9,76	29	17	Regular
Bosque arboretum	6	79,7	39	0,00	10,26	35	17	Regular
Bosque arboretum	7	56,9	46	6,52	2,17	35	17	Regular
Bosque arboretum	8	53,4	37	5,56	16,22	31	16	Regular
Varillal alto seco	1	84,6	88	1,14	9,09	31	16	Regular
Varillal alto seco	2	81,1	116	0,86	1,72	25	14	Regular
Varillal alto seco	3	87,5	116	0,00	3,45	24	12	Regular
Varillal alto seco	4	64,1	71	0,00	5,63	47	21	Regular
Varillal alto seco	5	72,9	76	1,32	6,58	52	22	Regular
Varillal alto seco	6	65,2	78	0,00	7,69	46	21	Regular
Varillal alto seco	7	42,9	94	1,06	6,38	37	19	Regular
Varillal alto seco	8	77,5	98	0,00	2,04	42	20	Regular
Bosque primario RNAM	1	86,3	89	1,12	24,72	74	25	Bueno
Bosque primario RNAM	2	60,8	73	1,37	19,18	64	25	Bueno
Bosque primario RNAM	3	49,8	73	0,00	23,29	62	23	Bueno
Bosque primario RNAM	4	72,7	92	0,00	18,48	70	22	Bueno
Bosque primario RNAM	5	69,8	56	0,00	16,07	46	18	Bueno
Bosque primario RNAM	6	70,1	57	0,00	1,75	44	21	Bueno
Bosque primario RNAM	7	56,8	51	0,00	17,65	37	17	Bueno
Bosque primario RNAM	8	55,9	59	0,00	11,86	53	20	Bueno

## Anexo 16. Data para definir el estado de conservación de los bosques amazónicos.

Tipo bosque	FAJA	RRNN	Fam	Arfam	spam	CobF	Cext	Cint	Cam	Incnd	FlorA	Fauna	Nestr	CD	ctafam	Ptotal	%total	Estado de conserv.
Varillal alto húmedo	1	5	3	1	1	4	2	5	2	5	3	1	5	2	4	39	60,0	2
Varillal alto húmedo	2	5	5	2	1	4	2	5	2	5	3	1	5	4	5	44	67,7	2
Varillal alto húmedo	3	5	5	1	1	4	2	5	2	5	3	1	5	4	5	43	66,2	2
Varillal alto húmedo	4	5	3	1	1	4	2	5	2	5	3	1	5	4	4	41	63,1	2
Varillal alto húmedo	5	5	5	2	1	4	2	5	2	5	3	1	5	4	5	44	67,7	2
Varillal alto húmedo	6	5	3	1	1	4	2	5	2	5	3	1	5	4	4	41	63,1	2
Varillal alto húmedo	7	5	1	1	1	4	2	5	2	5	3	1	5	4	3	39	60,0	2
Varillal alto húmedo	8	5	3	2	1	5	2	5	2	5	3	1	5	4	4	43	66,2	2
Arboretum el Huayo	1	5	3	2	1	4	2	2	5	5	5	1	5	4	4	44	67,7	2
Arboretum el Huayo	2	5	5	2	1	3	2	2	5	5	5	1	5	4	5	45	69,2	2
Arboretum el Huayo	3	5	1	1	1	4	2	2	5	5	5	1	5	4	3	41	63,1	2
Arboretum el Huayo	4	5	3	2	1	3	2	2	5	5	5	1	5	4	4	43	66,2	2
Arboretum el Huayo	5	5	3	1	1	4	2	2	5	5	5	1	5	4	4	43	66,2	2
Arboretum el Huayo	6	5	5	2	1	4	2	2	5	5	5	1	5	4	5	46	70,8	2
Arboretum el Huayo	7	5	1	1	1	4	2	2	5	5	5	1	5	4	3	41	63,1	2
Arboretum el Huayo	8	5	3	2	1	4	2	2	5	5	5	1	5	4	4	44	67,7	2
Varillal seco alto	1	5	1	1	1	5	2	5	5	5	3	1	5	4	3	43	66,2	2
Varillal seco alto	2	5	1	1	1	5	2	5	5	5	3	1	5	4	2	43	66,2	2
Varillal seco alto	3	5	1	1	1	5	2	5	5	5	3	1	5	4	2	43	66,2	2
Varillal seco alto	4	5	1	1	1	4	2	5	5	5	3	1	5	4	2	42	64,6	2
Varillal seco alto	5	5	1	1	1	4	2	5	5	5	3	1	5	4	2	42	64,6	2
Varillal seco alto	6	5	1	1	1	5	2	5	5	5	3	1	5	4	3	43	66,2	2
Varillal seco alto	7	5	1	1	1	5	2	5	5	5	3	1	5	4	1	43	66,2	2
Varillal seco alto	8	5	1	1	1	5	2	5	5	5	3	1	5	2	2	41	63,1	2
Bosque primario RNAM	1	5	5	1	1	5	5	5	5	5	5	1	5	4	5	52	80,0	1
Bosque primario RNAM	2	5	5	1	1	4	5	5	5	5	5	1	5	5	5	52	80,0	1
Bosque primario RNAM	3	5	5	1	1	4	5	5	5	5	5	1	5	5	5	52	80,0	1
Bosque primario RNAM	4	5	5	2	1	5	5	5	5	5	5	1	5	4	6	53	81,5	1
Bosque primario RNAM	5	5	5	2	1	4	5	5	5	5	5	1	5	4	5	52	80,0	1
Bosque primario RNAM	6	5	3	1	1	4	5	5	5	5	5	1	5	5	4	50	76,9	1
Bosque primario RNAM	7	5	3	1	1	4	5	5	5	5	5	1	5	4	3	49	75,4	1
Bosque primario RNAM	8	5	5	2	1	4	5	5	5	5	5	1	5	5	5	53	81,5	1



Anexo 18. Mapa de Zonas de Estudio.

