



UNAP



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS

**“DETERMINACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE UNA ECUACIÓN ALOMÉTRICA
PARA ALTURA TOTAL EN BOSQUE DE COLINA BAJA, DISTRITOS DE
MAZÁN Y NAPO, LORETO, PERÚ. 2024”**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL

PRESENTADO POR:

HILLARY SCAY VALDIVIA QUINTERO

ASESOR:

Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 048-CCGYT-FCF-UNAP-2024

En Iquitos, en la sala de conferencias de la Facultad de Ciencias Forestales, a los 02 días del mes de octubre del 2024, a horas 12:00 m., se dio inicio a la sustentación pública de la tesis: "DETERMINACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE UNA ECUACIÓN ALOMÉTRICA PARA ALTURA TOTAL EN BOSQUE DE COLINA BAJA, DISTRITOS DE MAZÁN Y NAPO, LORETO, PERÚ. 2024", aprobado con R.D. N° 0125-2024-FCF-UNAP, presentado por la bachiller HILLARY SCAY VALDIVIA QUINTERO, para optar el Título Profesional de Ingeniera Forestal, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R.D. N° 0373-2024-FCF-UNAP, está integrado por:

- Ing. Angel Eduardo Maury Laura, Dr. : Presidente
- Ing. Rildo Rojas Tuanama, Dr. : Miembro
- Ing. Denilson Marcell Del Castillo Mozombite, M.Sc. : Miembro

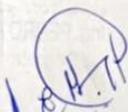
Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Si. Si se accionó Asesor.

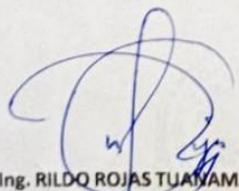
El jurado después de las deliberaciones correspondientes, llegó a las siguientes conclusiones:

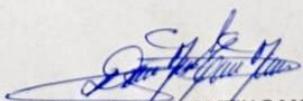
La sustentación pública y la tesis han sido: Aprobada con la calificación de Buena.

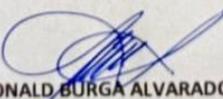
Estando la bachiller apta para obtener el Título Profesional de Ingeniera Forestal.

Siendo las 13.45pm Se dio por terminado el acto Académico.


Ing. ANGEL EDUARDO MAURY LAURA, Dr.
Presidente


Ing. RILDO ROJAS TUANAMA, Dr.
Miembro


Ing. DENILSON MARCELL DEL CASTILLO MOZOMBITE, M.Sc.
Miembro


Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Asesor

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL

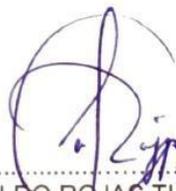
"Determinación de biomasa mediante una ecuación alométrica para altura total en
bosque de colina baja, distritos de Mazán y Napo, Loreto, Perú. 2024"

MIEMBROS DEL JURADO



.....
Ing. ANGEL EDUARDO MAURY LAURA, Dr.
Presidente

REGISTRO CIP N° 44895



.....
Ing. RILDO ROJAS TUANAMA, Dr
Miembro

REGISTRO CIP N° 86706



.....
Ing. DENILSON MARCELL DEL CASTILLO MOZOMBITE, M.Sc.
Miembro

REGISTRO CIP N° 172011



.....
Ing. Ronald Burga Alvarado, Dr.
Asesor

REGISTRO CIP N° 45725

NOMBRE DEL TRABAJO

FCF_TESIS_VALDIVIA QUINTERO.pdf

AUTOR

HILLARY SCAY VALDIVIA QUINTERO

RECuento de palabras

17431 Words

RECuento de caracteres

82688 Characters

RECuento de páginas

66 Pages

Tamaño del archivo

471.9KB

Fecha de entrega

Nov 11, 2024 9:15 PM GMT-5

Fecha del informe

Nov 11, 2024 9:16 PM GMT-5

● **21% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 19% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 15% Base de datos de trabajos entregados
- 3% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres por todo el apoyo, confianza y dedicación a lo largo de estos años y por siempre brindarme todo lo necesario para mi óptimo desarrollo personal y profesional.

A mi abuelita Edelmira Isuiza QPD, por todo el amor, fortaleza, consejos y cuidados que me dio en vida.

A mis hijas Vania Camila y Adria Leticia, por ser mi mayor motivación para seguir adelante y ser para ellas un buen ejemplo a seguir.

A mi compañero de vida, Juan Cárdenas, por alentarme a cumplir todo lo que me propongo y por su apoyo incondicional que fue fundamental en todo momento.

AGRADECIMIENTO

- En primer lugar, agradezco a Dios por brindarme vida y salud para concluir de manera satisfactoria este proyecto.
- A mis padres por haberme forjado como una persona de bien y motivarme a superar mis metas.
- A mis hijas y esposo por el amor que me brindan y ser mi sostén y principal fortaleza en la vida.
- Finalmente agradezco a cada uno de los docentes de la Facultad de Ciencias Forestales, por haber compartido sus conocimientos y guiarme a lo largo de mi preparación profesional.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
FIRMA DE JURADOS	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	6
1.3. Definición de términos básicos	8
CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES	10
2.1. Formulación de la hipótesis	10
2.2. Variables y su operacionalización	10

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño	11
3.2. Diseño muestral	11
3.3. Procedimientos de recolección de datos	12
3.4. Procesamiento y análisis de los datos	12
3.4.1. Verificación y determinación de la composición florística	12
3.4.2. Determinar el número de árboles por clase diamétrica y por especie	13
3.4.3. Altura promedio de los árboles	13
3.4.4. Modelo alométrico que mejor se ajusta para estimar la altura total	13
• Criterios para la selección del modelo alométrico	15
3.4.5. Cálculo de la biomasa	16
• Cálculo de la biomasa radicular	16
• Cálculo de la biomasa total	16
3.4.6. Determinar la correlación entre el DAP con la altura total y la biomasa de los árboles	17
• Prueba de normalidad	18
3.5. Aspectos éticos	19
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	21

4.1.	Composición florística del bosque de colina baja	21
4.2.	Número de árboles	26
4.3.	Altura total promedio de árboles	34
4.4.	Biomasa	38
4.5.	Correlación entre el DAP con altura total y biomasa	47
4.5.1.	Prueba de normalidad	47
4.5.2.	Correlación	52
	CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	54
5.1.	Ecuación alométrica	54
5.2.	Biomasa	58
	CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	62
	CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	64
	CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	65
	ANEXOS	70
	Anexo 1. Mapa de ubicación del consolidado 1 Tacsha de las concesiones en los distritos de Mazán y Napo	71
	Anexo 2. Constancia de identificación botánica de las especies	72

ÍNDICE DE TABLAS

N°	Descripción	Pág.
1.	Caracterización florística del bosque de colina baja	25
2.	Distribución del número de árboles por especie y por diámetro	31
3.	Altura total promedio	34
4.	Modelos alométricos evaluados a la altura total promedio	37
5.	Distribución de biomasa por clase diamétrica y por especie	41
6.	Prueba de normalidad del DAP, altura total y biomasa	48
7.	Estadísticos descriptivos del DAP, altura total y biomasa	51
8.	Correlación entre el DAP y altura total	52
9.	Correlación entre el DAP y biomasa	53

ÍNDICE DE GRÁFICOS

N°	Descripción	Pág.
1.	Distribución de la abundancia por familia	24
2.	Distribución del número de árboles por clase diamétrica	29
3.	Distribución de altura total promedio	35
4.	Modelo de predicción de la altura total de un árbol	38
5.	Distribución de la biomasa por clase diamétrica	44
6.	Distribución de la biomasa por especie	46
7.	Diagrama de caja de bigotes del DAP, altura comercial y biomasa	49

RESUMEN

Se empleó una fórmula alométrica para calcular la biomasa, destinada a estimar la altura total de los árboles en un bosque de colina baja en los contratos consolidados Tacsha 01 – 16-IQU/C-J-170-04, 16-IQU/C-J-217-04, 16-IQU/C-J-243-04, 16-IQU/D-C-001-12, 16-IQU/C-J-171-04, 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-006 y 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-009, situados en los distritos de Mazán y Napo, en Loreto, Perú. La diversidad florística se evidencia en la presencia de 7460 árboles pertenecientes a 60 especies y 20 familias botánicas. El modelo cúbico ($AT = 8,751 + (0,368 \times DAP) + (-0,004 \times DAP^2) + (0,00001371 \times DAP^3)$) demostró ser el más adecuado para calcular la altura total de los árboles según el DAP, con coeficientes de determinación R^2 de 0,992, R^2 ajustado de 0,989 y un error estándar de estimación SEE de 0,328. La biomasa total alcanza los 22509,88 kg/ha. *Eschweilera albiflora* y *Iryanthera elliptica* destacan por su mayor biomasa, registrando 3967,11 kg/ha y 2728,90 kg/ha, respectivamente. La investigación descarta la hipótesis de que el modelo alométrico lineal no sea adecuado para estimar la altura total de los árboles en el bosque de colina baja.

Palabras clave: Ecuación alométrica, biomasa, altura total, colina baja, Mazán, Napo.

ABSTRACT

An allometric formula was used to calculate biomass, aimed at estimating total tree height in a low hill forest in the consolidated contracts Tacsha 01 - 16-IQU/C-J-170-04, 16-IQU/C-J-217-04, 16-IQU/C-J-243-04, 16-IQU/D-C-001-12, 16-IQU/C-J-171-04, 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-006 and 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-009, located in the districts of Mazán and Napo, in Loreto, Peru. Floristic diversity is evidenced by the presence of 7460 trees belonging to 60 species and 20 botanical families. The cubic model ($AT = 8,751 + (0,368 \times DAP) + (-0,004 \times DAP^2) + (0,00001371 \times DAP^3)$) proved to be the most adequate to calculate the total height of the trees according to DBH, with coefficients of determination R^2 of 0,992, adjusted R^2 of 0,989 and a standard error of estimation SEE of 0,328. The total biomass reached 22509,88 kg/ha. *Eschweilera albiflora* and *Iryanthera elliptica* stand out for their higher biomass, registering 3967,11 kg/ha and 2728,90 kg/ha, respectively. The research rules out the hypothesis that the linear allometric model is not suitable for estimating the total tree height in the low hill forest.

Keywords: Allometric equation, biomass, total height, low hill, Mazán, Napo.

INTRODUCCIÓN

Es importante prever esta proporción con precisión porque la altura sólo suele estar disponible a partir de una muestra de árboles y es más costosa y difícil de medir sobre el terreno que el diámetro (Castedo *et al.*, 2005, p. 230).

La altura de los árboles es, después del diámetro, el segundo parámetro más importante a evaluar en los inventarios forestales. Al ser uno de los tres factores junto con el diámetro y la forma del tronco que se utilizan para estimar el volumen de un árbol o rodal, su medición precisa es crucial. Además, la altura transmite información sobre la calidad del lugar (Barrena & Llerena, 1988, p. 1).

La medición de la altura de los árboles supone el mayor reto a la hora de evaluar el bosque, ya que actualmente no existe una forma eficaz, rápida y fiable de obtener estos datos. Dado que la longitud es más cara y difícil de medir sobre el terreno que el diámetro y que a menudo se calcula en forma visual es una medida subjetiva de precisión en nuestro sector (Cueva, 2023, p. 1).

En el bosque tropical, medir la altura con precisión es casi imposible. No es necesario registrar las medidas con excesiva precisión porque muchos de los árboles son difíciles de identificar con exactitud en la parte superior de sus copas cuando están cubiertos de hojas (Leaño y Saravia, 1998 como se citó en Lago, 2019, p. 7).

Al utilizar la asociación entre variables difíciles de medir (pesos) y las que se evalúan directamente en los inventarios forestales (Diámetro a la altura del pecho y altura comercial o total), los modelos alométricos ayudan a calcular la biomasa de grandes extensiones forestales. (Watzlawick *et ál.*, 2001 como se citó en Alvarez, 2008, pp. 1. 2).

Debido a los diversos factores que influyen en el desarrollo de los árboles, como la genética, las subpoblaciones locales, el clima y los suelos, la utilización de modelos alométricos creados en distintos lugares para el cálculo de la biomasa tiene sus límites. Estos elementos influyen en el aumento de la biomasa. Así pues, la creación de modelos alométricos locales es crucial (Alvarez, 2008, p. 2).

El objetivo principal de la presente investigación fue determinar la biomasa mediante una ecuación alométrica para altura total en bosque de colina baja, distritos de Mazán y Napo, Loreto, Perú. 2024.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Se ha realizado un estudio de modelos alométricos en el distrito de Requena en 2023 para determinar la altura total de las especies forestales en un bosque de terraza alta. El modelo cúbico, que explica el 30,9% de la variación de la altura total de los árboles en este bosque y tiene el mayor coeficiente de correlación ($r = 0,556$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0,309$), es el modelo de correlación más adecuado para esta correlación, según los datos. La altura total se calcula mediante la fórmula siguiente: $Y = 29,468 + (-0,135 \times \text{DAP}) + (0,000 \times \text{DAP}^2) + (5,630\text{E-}6 \times \text{DAP}^3)$ (Correa, 2023, p. 22).

La investigación sobre el modelo alométrico se llevó a cabo en el distrito de Napo en 2023 para determinar la altura total de las especies forestales en un bosque de colina baja. Con el mayor coeficiente de correlación ($r = 0,967$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0,935$), el modelo cúbico fue el modelo alométrico que mejor se ajustó a esta relación. Esto significa que el 93,5% de la variación en la altura total de los árboles de este bosque está causada por el diámetro de los árboles. La ecuación para estimar la altura total es: $Y = 39,750 + (-0,582 \times \text{DAP}) + (0,006 \times \text{DAP}^2) + (-2,007\text{E-}5 \times \text{DAP}^3)$ (Cueva, 2023, p. 31).

En el año 2023 se realizó un estudio de modelos alométricos en el distrito de Mazán para determinar la altura total de las especies forestales en un bosque de colina baja. Dado que el modelo de potencia tiene el mayor coeficiente de correlación ($r = 0,942$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0,886$), los resultados sugieren que exhibe la correlación más relevante para esta relación. También muestra que el diámetro explica el 88,6% de la variación de la altura total en este

bosque. La siguiente es la ecuación para calcular la altura total: Y es igual a 33,482 veces (DAP^{0,05}) (Paima, 2023, p. 25).

En el año 2023 se estudió la relación entre la altura total y comercial y el diámetro de los árboles en un bosque de terraza baja en la comunidad nativa de Nuevo Libertad, distrito de Napo. Dado que el modelo cuadrático tiene el mayor coeficiente de correlación ($r=0,868$) y de determinación ($R^2=0,754$), es el modelo de correlación que mejor se ajusta para estimar la altura total de los árboles de este bosque. Esto significa que el 75,4% de la variación en la altura total de los árboles de este bosque está relacionada con el diámetro. La siguiente ecuación puede utilizarse para estimar la altura total: Y es igual a $24,624(- 0,024 \times \text{DAP}) + (0,000 \times \text{DAP}^2)$ (Vacalla, 2023, p. 23).

Para determinar la altura de las especies forestales en la parcela N° 6 del Arboretum "El Huayo" - CIEFOR - Puerto Almendra, Loreto - 2018 se realizó un estudio de modelo alométrico en el distrito de San Juan Bautista. El mejor coeficiente de correlación ($R=0,900$) y determinación ($R^2=0,810$) lo muestra el modelo alométrico potencia ($HT= 9,744 \text{ DAP}^{0,231}$), al que le siguen la curva s ($R^2=0,808$), cúbica ($R^2=0,806$), logarítmica ($R^2=0,787$), inversa ($R^2=0,754$), cuadrática ($R^2=0,748$), lineal ($R^2=0,680$), y compuesta, de crecimiento, exponencial y logística con ($R^2=0,660$) (Rivas, 2019, p. 27).

Se llevó a cabo una investigación sobre la biomasa y el carbono almacenado en especies comerciales de un bosque de colina baja en el distrito de Mazán en 2023. Los resultados indican una biomasa de 13 287 863,51 kg (41 011,92 kg/ha); las 20 especies con mayor biomasa corresponden a 31 648,12 kg/ha, mientras que las 31 especies restantes con menor biomasa contienen 9363,80 kg/ha.

Además, la biomasa de *Parkia ulei* es la más elevada, con 4785,02 kg/ha. Le siguen *Otoba parvifolia* (1934,34 kg/ha), *Virola surinamensis* (1962,88 kg/ha), *Terminalia amazonia* (2262,00 kg/ha) y *Diploptropis martiusii* (2485,50 kg/ha). La clase diamétrica entre 70 y 80 cm (11 511,07 kg/ha) presenta la mayor concentración de biomasa seca, seguida de 60 y 70 cm (10 079,08 kg/ha), 80 y 90 cm (6397,47 kg/ha) y 100 cm a más (5855,83 kg/ha) (Pacaya, 2023, p. 23).

En 2022 se llevó a cabo una evaluación de la biomasa y el carbono almacenado en especies comerciales de un bosque de colina baja en el distrito de Mazán. *Virola calophylla* tiene la mayor cantidad de biomasa, con 2914,59 kg/ha, seguida de *Anaueria brasiliensis* con 2527,11 kg/ha y *Acacia loretensis* con 2358,55 kg/ha. Los datos muestran una biomasa de 25 567,54 kg/ha. Las clases diamétricas con mayores valores de biomasa fueron las comprendidas entre 60 y 69 cm (6084,80 kg/ha), entre 70 y 79 cm (5435,50 kg/ha) y a partir de 90 cm a más (6800,89 kg/ha) (Meza, 2022, pp. 20,21).

En 2022 se realizó en el distrito de Mazán un estudio sobre la biomasa y las reservas de carbono contenidas en las especies comerciales del bosque de colina baja. Los resultados muestran que la biomasa global del bosque es de 99 266 675,87 kg (50 285,54 kg/ha); las 30 especies con mayor biomasa representan en conjunto 92 46 688,65 kg/ha. Con 4322,10 kg/ha, *Acacia loretensis* tiene la mayor biomasa, seguida de 13 554,55 kg/ha de *Pouteria caimito*, *Virola calophylla* y *Eschweilera bracteosa* juntas. La mayor concentración de biomasa (10506,38 kg/ha) se encuentra en la clase diamétrica entre 60 y 69 cm, seguida de 70 a 79 cm (10472,66 kg/ha) y 100 cm y más (9779,92 kg/ha) (Bustios, 2022, p. 25).

1.2. Bases teóricas

Según Corral-Rivas *et al.*; (2014), como se citó en Hernández *et al.*; (2019), p. 268; esta relación alométrica entre la altura total (At) de un árbol y su diámetro normal (d) se considera una característica crucial para la toma de datos en un inventario forestal maderable, así como para la creación y ejecución de planes de gestión. El alto grado de variabilidad de esta relación ha dificultado la obtención de expresiones matemáticas con el deseado coeficiente de determinación cercano a la unidad; como resultado, el ajuste mediante la técnica de modelos de efectos mixtos (MEM) ha surgido como una opción adecuada para este tipo de estudios (Corral-Rivas *et al.*; 2014, Ercanli 2015 como se citó en Hernández, *et al.*; 2019, p. 268).

El diámetro a la altura del pecho (DAP) es la única variable independiente incluida en la mayoría de las ecuaciones alométricas, que demuestran un vínculo entre esta variable y los componentes de la biomasa arbórea (Gower *et al.*, 1999, Návar, 2009 como se citó en Gómez, *et al.*; 2011, p. 262). Para mejorar la precisión de la estimación de la biomasa, algunos estudios (Ketterings *et al.*, 2001; Brandeis *et al.*, 2006; Sampaio *et al.*, 2010 como se citó en Gómez, *et al.*; 2011, p. 262) proponen incluir la altura del árbol (H) como segunda variable predictora y desarrollar ecuaciones con variables combinadas DAP-H. Otros estudios (Martínez-Yrizar *et al.*, 1992; 1996; Gómez *et al.*, 2010 como se citó en Gómez, *et al.*; 2011, p. 262) incluyen la densidad específica de la madera (DEM) además de las variables anteriormente mencionadas.

Las ecuaciones alométricas proporcionan una estimación rápida y económica de variables que son difíciles de medir. Para estimar volumen, biomasa y carbono a través de variables de fácil medición como el diámetro normal (Dn) y la altura total (Alt), algunos ejemplos de este trabajo son Quiñonez, Cruz, Vargas & Hernández

(2012) y Franco *et al.*; (2007) como se citó en Hernández *et al.*; (2019), p. 2. Estos son ejemplos de expresiones que muestran las relaciones de proporcionalidad entre el incremento relativo de las medidas de un organismo o sus partes (Gayon, 2000 como se citó en Hernández *et al.*; 2019, p. 2).

Para estimar la altura a través del diámetro normal (Alt-dn) se pueden utilizar ecuaciones locales o regionales (Sánchez, Cañellas & Montero, 2007 como se citó en Hernández *et al.*; 2019, p. 2). Mientras que las expresiones de tipo local se realizan utilizando una submuestra tomada de cada sitio de muestreo y requieren una menor cantidad de información para generar este tipo de ecuaciones (Trincado & Leal, 2006 como se citó en Hernández *et al.*; 2019, p. 2), las ecuaciones regionales o generalizadas incluyen variables a nivel de rodal para aumentar su aplicabilidad (Sharma & Parton, 2007 como se citó en Hernández *et al.*; 2019, p. 2).

Un indicador clave del peso en seco de la materia orgánica de un árbol o ecosistema es la biomasa forestal, que permite calcular la cantidad de carbono y dióxido de carbono que almacenan los árboles (Schlegel *et al.*; 2000 como se citó en Marroquin, *et al.*; 2023, p. 2). Las dos localizaciones de la biomasa son aérea y subterránea; la segunda se refiere a las raíces, mientras que la primera considera hojas, ramas y tallos (Murillo *et al.* 2015 como se citó en Marroquin, *et al.*; 2023, p. 2).

Para determinar la biomasa se pueden utilizar tanto métodos directos como indirectos. Para obtener la biomasa por individuo mediante métodos directos, primero hay que talar o extraer el árbol, medir su peso verde en el campo y, a continuación, extraer submuestras por componentes para determinar la relación peso seco-peso verde (Montoya *et al.*; 2018 como se citó en Marroquín, *et al.*; 2023,

p. 2). En cambio, los enfoques indirectos estiman la biomasa aérea total aplicando un factor de expansión al volumen y la densidad básica del tallo (Fonseca, 2017 como se citó en Marroquin, *et al.*, 2023, p. 2). Los modelos alométricos son otro tipo de método indirecto; estos modelos se crean mediante regresiones lineales y no lineales utilizando el vínculo entre una variable independiente (diámetro) y una variable dependiente (biomasa) (Cuenca *et al.*; 2014 como se citó en Marroquin, *et al.*; 2023, p. 2).

El análisis de regresión entre las variables recogidas en el campo y en los inventarios forestales (DAP, altura comercial y total, crecimiento dimétrico, entre otros) también se puede utilizar para calcular ecuaciones y modelos matemáticos que estimen la biomasa (Araújo *et al.*, 1999; Brown 1997 como se citó en Lerma y Orjuela, 2014, p. 29).

Debido a su importancia en el ciclo global del carbono y a los intereses de la industria, la energía y el medio ambiente, la biomasa ha ganado atención como objeto de estudio. Dado que el carbono constituye aproximadamente el 50% de la biomasa, la concentración de carbono puede calcularse a partir de la biomasa. Como resultado, se pueden hacer estimaciones de la cantidad de dióxido de carbono que entra en la atmósfera con cada eliminación de una planta o incendio forestal (Álvarez, 2008 como se citó en Lerma y Orjuela, 2014, p. 29).

1.3. Definición de términos básicos

Altura total.- Mida la distancia desde el suelo hasta el extremo de la yema terminal (ápice) (Cancino, 2012, p. 27).

Biomasa.- Conjunto de materiales orgánicos biodegradables derivados de plantas, animales o de su alteración natural o artificial (Toscano, 2009, p. 11)

Bosque de colina baja.- Su topografía es compleja, con pendientes notables que oscilan entre el 15% y el 35%, y crece en un entorno montañoso con ondulaciones en su diseño (Fondo Nacional para Áreas Naturales Protegidas por el Estado [PROFONANPE], 2007, p. 37).

Bosque.- Ecosistema mayoritariamente arbóreo, con árboles de consistencia leñosa, una altura mínima de 5 metros para la selva amazónica, en áreas mayores de 0,5 ha, y una anchura mínima de 20 metros. La cobertura del dosel arbóreo debe ser como mínimo del 10%, medida a partir de la proyección de las copas de los árboles sobre la superficie del suelo (FAO, 1996, como se citó en Zarate, 2021, p. 19).

Diámetro a la altura del pecho (DAP).- 1,30 metros sobre el suelo es la altura a la que se mide el DAP (Cancino, 2012, p. 26).

Especies.- Grupo de componentes que son comparables entre sí debido a uno o más rasgos compartidos (Rae y Asale, 2010, p.1).

Modelo alométrico.- Fórmulas matemáticas que permiten realizar aproximaciones a partir de un número reducido de parámetros cuantificables y observables, como la altura total o el diámetro a la altura del pecho (Loetsch, *et ál.*; 1973, Caillez, 1980, Husch, *et ál.*; 1982, Parresol, 1999, como se citó en Segura y Andrade, 2008, p. 90).

Relación o asociación.- Afinidad que puede existir entre dos variables del mismo material de investigación (Beiguelman, 1994, como se citó en Vela, 2019, p. 12).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

El modelo alométrico lineal para altura total permite estimar la biomasa en bosque de colina baja, distritos de Mazán y Napo, Loreto, Perú. 2024

2.2. Variables y definiciones operacionales

Variable	Definición conceptual	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Medio de verificación
Independiente					
Bosque: colina baja	Su geografía es complicada, con notables pendientes del 15% al 35%, y crece en una zona montañosa con ondulaciones en la estructura.	Cuantitativa	Composición florística	Razón	Ficha de registro de base de datos.
Ecuación alométrica	fórmulas matemáticas, como la altura total o el diámetro a la altura del pecho, que permiten hacer aproximaciones a partir de un número limitado de características medibles y visibles.		- Fórmula matemática		Formato para almacenar datos sobre la altura total por especie y DAP
Dependiente					
Biomasa	Conjunto de materiales orgánicos biodegradables derivados de plantas, animales o de su alteración natural o artificial.	Cuantitativa	Kilogramos	Razón	Formato de registro de biomasa de árboles individuales en especies forestales comerciales y datos dasométricos

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

El estudio tiene un diseño no experimental de nivel básico y es de naturaleza descriptiva, cualitativa, cuantitativa y correlacional.

La investigación se llevó a cabo en el bosque de colina baja ubicado en el marco del Plan General de Manejo Forestal de los contratos de concesión destinados a la explotación de madera, específicamente en los contratos Consolidado Tacsha 01 – 16-IQU/C-J-170-04, 16-IQU/C-J-217-04, 16-IQU/C-J-243-04, 16-IQU/D-C-001-12, 16-IQU/C-J-171-04, 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-006 y 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-009, los cuales son operados por la empresa GREEN GOLD FORESTRY PERÚ S.A. Este bosque en particular tiene un área aproximada de producción forestal de 153 802,52 hectáreas. En términos políticos, se encuentra ubicado dentro de los distritos de Mazán y Napo, en la provincia de Maynas, Región Loreto (Anexo 1).

3.2. Diseño muestral

La población de estudio estuvo compuesta por todos los árboles de especies comerciales con valores de DAP (Diámetro a la altura del pecho) iguales o superiores a 10 cm, que han sido identificados en el bosque de colina baja de las concesiones forestales 16-IQU/C-J-170-04, 16-IQU/C-J-217-04, 16-IQU/C-J-243-04, 16-IQU/D-C-001-12, 16-IQU/C-J-171-04, 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-006 y 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-009. Estas concesiones se encuentran ubicadas en los distritos de Mazán y Napo. La extensión total de la población de estudio abarca un área de 153 802,52 hectáreas. Para la investigación, se hizo un inventario de 405,61 hectáreas de este bosque.

3.3. Procedimientos de recolección de datos

Para la recopilación de datos de campo, se llevó a cabo un inventario forestal exhaustivo. Un equipo de campo utilizó un formulario especialmente diseñado para la recopilación de datos, el cual incluyó campos para registrar información como el nombre de la especie, el valor de DAP, la altura total del árbol, las coordenadas UTM y cualquier observación relevante. Estos datos fueron ingresados en el formulario de recopilación de datos. Este enfoque permitió obtener información precisa y completa sobre la composición y características de la población de árboles en el área de estudio.

3.4. Procesamiento y análisis de los datos

El método y el análisis de datos se basó en la información recopilada durante el inventario forestal realizado en el año 2023 en el bosque de estudio. Para registrar cada árbol de forma individual y capturar los datos correspondientes a cada especie, se empleó el formato de recopilación de datos específico para el censo forestal. Este enfoque garantizó el registro completo y preciso de los datos necesarios para el análisis posterior.

3.4.1. Verificación y determinación de la composición florística

La verificación y determinación de la composición florística, en términos de nombre común, nombre científico y familia de las especies forestales comerciales registradas en el inventario forestal, fue realizado por el Herbarium Amazonense de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. Este herbario se encargó de llevar a cabo un riguroso proceso de identificación y clasificación de las especies, utilizando métodos científicos y consultando diversas fuentes de referencia. Su expertise en la flora amazónica garantiza una correcta asignación de nombres

comunes, nombres científicos y las respectivas familias botánicas a cada una de las especies forestales comerciales registradas en el censo forestal.

3.4.2. Determinar el número de árboles por clase diamétrica y por especie

El diámetro a la altura del pecho (DAP) fue la variable base utilizada en el estudio. Con el fin de facilitar las comparaciones con los resultados de otros trabajos, se estableció un intervalo de clase de 10 cm, siguiendo las normas internacionales de normalización. Estas normas se basan en la referencia de Cardenas (1986), citada en el estudio de Moreno (2015, pp. 26, 27). La adopción de este intervalo de clase estandarizado permitirá una mejor comparabilidad y consistencia de los datos en relación con otros estudios similares, lo que facilitará el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos

3.4.3. Altura promedio de los árboles

Para estimar la altura promedio de los árboles, se tomó en cuenta la altura total de todos los árboles registrados en el censo forestal que tengan un diámetro a la altura del pecho (DAP) igual o superior a 10 cm. Esta información se utilizó para calcular la altura promedio de la población arbórea en estudio. Al considerar la altura total de los árboles con un DAP igual o superior a 10 cm, se logró una estimación más precisa de la altura promedio, lo que permitió tener una medida representativa de las características de la población arbórea en términos de altura.

3.4.4. Modelo alométrico que mejor se ajusta para estimar la altura total

Se utilizó el programa SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) para procesar los datos recopilados. En primer lugar, se determinó la distribución de frecuencias por clases de diámetro, lo que permitió establecer la relación entre el diámetro normal (X) y las frecuencias de la altura total media observada por clase

de diámetro (Y). Esta relación se representa en un gráfico de dispersión en un eje de coordenadas.

Posteriormente, se realizó un análisis estadístico para comprobar la correlación entre estas variables. Para ello, se calculó el coeficiente de correlación (r), que indica la fuerza y la dirección de la relación lineal entre el diámetro y la altura. Además, se calculó el coeficiente de determinación (R²), que proporciona información sobre la proporción de la variabilidad de la altura total explicada por el diámetro. Se estimó también el error estándar estimado (SEE) para evaluar la precisión de la relación. Adicionalmente, se evaluó la distribución de los residuos obtenidos a partir de la correlación para identificar la mejor distribución y evaluar la validez del modelo.

El uso del programa SPSS facilitó el procesamiento de los datos y permitió realizar análisis estadísticos precisos y detallados, lo que contribuyó a obtener conclusiones y resultados eficientes en el estudio

Se evaluaron 11 modelos alométricos distribuidos en: un modelo lineal y 10 modelos no lineales o curvilíneos:

Nº	Modelos alométricos	Ecuaciones
1	Lineal	$h = b_0 + (b_1 \times d)$
2	Logarítmica	$h = b_0 + (b_1 \times \ln(d))$
3	Inversa	$h = b_0 + (b_1 / d)$
4	Cuadrática	$h = b_0 + (b_1 \times t) + (b_2 \times d^2)$
5	Cúbica	$h = b_0 + (b_1 \times d) + (b_1 \times d^2) + (b_1 \times d^3)$
6	Compuesta	$h = b_0 \times (b_1^d)$
7	Potencia	$h = b_0 \times (d^{b_1})$
8	s-Curva	$h = e^{(b_0 (b_1 / d))}$
9	Crecimiento	$h = e^{(b_0 (b_1 \times d))}$
10	Exponencial	$h = b_0 (e^{(b_1 \times d)})$
11	Logística	$h = 1 / (1/\mu + b_0 (b_1^d))$

Donde:

b₀, b₁, b₂, b₃ = Constantes (Parámetros estimados)

ln = Logaritmo natural

h = Altura total

d = DAP

- **Criterios para la selección del modelo alométrico**

Los criterios de selección del modelo alométrico que más se ajusta a la estimación de la biomasa aérea por árbol individual, según los autores Santos (1996) y Higuchi *et al.*; (1998), como se citó en Espíritu (2016, p. 28), son los siguientes:

- a) Mayor coeficiente de determinación (R^2): El modelo alométrico con un mayor coeficiente de determinación indica una mayor capacidad para explicar la variabilidad de la biomasa en relación con las variables predictoras utilizadas en el modelo. Un valor más alto de R^2 indica un mejor ajuste del modelo a los datos observados.
- b) Menor error estándar estimado (SEE): Un menor error estándar estimado implica una menor discrepancia entre los valores observados y los valores predichos por el modelo alométrico. Un menor SEE indica una mayor precisión en la estimación de la biomasa aérea por árbol individual.
- c) Mejor distribución de residuos: La distribución de los residuos obtenidos a partir del modelo alométrico debe ser lo más cercana posible a una distribución normal y homogénea. Una mejor distribución de residuos indica una mejor capacidad del modelo para capturar la variabilidad de la biomasa aérea de manera precisa y consistente.
- d) Menor dificultad para la estimación: El modelo alométrico seleccionado debe ser práctico y de fácil aplicación, evitando complicaciones innecesarias en su implementación. Una menor dificultad para la estimación implica una mayor

utilidad y aplicabilidad del modelo en estudios de estimación de biomasa aérea.

Estos criterios permitieron seleccionar el modelo alométrico más adecuado para la estimación de la biomasa aérea por árbol individual, considerando la calidad de ajuste, la precisión en la estimación y la facilidad de aplicación del modelo

3.4.5. Cálculo de la biomasa

Para determinar la biomasa se utilizó la fórmula alométrica citada en el estudio de Espíritu (2016, p. 25), que se basa en la referencia de Chavé *et al.*; (2014).

$$AGB=0,0673 * (\rho D^2 H)^{0,976}$$

Donde:

AGB = Biomasa total o por componente estructural (kg)

D² = Diámetro normal (cm)

H = Altura total (m)

ρ = Densidad de madera (g/cm³)

A continuación, se realizaron los siguientes cálculos utilizando la ecuación alométrica de mejor ajuste para estimar la biomasa aérea.

- **Cálculo de la biomasa radicular**

Para estimar la biomasa radicular, se utilizó la fórmula propuesta por Higuchi y Carvalho (1994), p. 144, como se citó en Espíritu (2021), p. 19.

$$Br = (0,20) Ba$$

Donde: Br= biomasa radicular (kg); Ba = biomasa aérea (kg)

- **Cálculo de la biomasa total**

Para estimar la biomasa total, se utilizó la fórmula propuesta por Higuchi y Carvalho (1994), p. 144 como se citó en Espíritu (2021), p. 19. Esta fórmula consiste en

sumar la biomasa aérea y la biomasa radicular. La biomasa aérea se refiere al peso de la parte visible del árbol, como el tronco, las ramas y las hojas, mientras que la biomasa radicular se refiere al peso de las raíces.

$$B_t = B_a + B_r$$

Dónde: B_t = biomasa total (kg); B_a = biomasa aérea (kg); B_r = biomasa radicular (kg).

3.4.6. Determinar la correlación entre el DAP con la altura total y la biomasa de los árboles

Para tal efecto se determinó inicialmente la:

- **Prueba de normalidad**

En el análisis de normalidad de los datos de los árboles del bosque de colina baja, se utilizó la prueba de Kolmogorov-Smirnova. Esta prueba es comúnmente utilizada para evaluar si una muestra de datos sigue una distribución normal.

La hipótesis planteada para ambas pruebas fue la siguiente:

Hipótesis nula (H_0):	La variable aleatoria SI tiene distribución normal	$p\text{-valor} > 0,05$
Hipótesis alterna (H_1):	La variable aleatoria NO tiene distribución normal	$p\text{-valor} < 0,05$

Para la prueba de Kolmogorov-Smirnov, se comparó la distribución de los datos con la distribución normal teórica. Se calculó el estadístico D, que representa la mayor discrepancia entre las dos distribuciones. Se comparó el valor de D con un valor crítico obtenido de tablas o mediante cálculos estadísticos. Si el valor de D es mayor que el valor crítico, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que los datos no siguen una distribución normal.

El enfoque propuesto para evaluar si existe una diferencia estadísticamente significativa entre los árboles del bosque de colina baja se basa en la normalidad de las variables aleatorias. Como los datos no siguen una distribución normal, se utilizó una prueba no paramétrica, en este caso, el coeficiente de correlación Rho de Spearman, según lo propuesto por Rosas y Zuiga (2010, p. 22).

El coeficiente de correlación Rho de Spearman, se utiliza para medir la relación monotónica (no necesariamente lineal) entre dos variables, incluso si no siguen una distribución normal. Este coeficiente varía entre -1 y 1, y su interpretación es similar a la del coeficiente de correlación de Pearson.

Para realizar estas correlaciones, se graficó el DAP en el eje X y la altura total y la biomasa estimada en el eje Y. Posteriormente, se calculó el coeficiente de correlación de Rho de Spearman entre el DAP y cada una de las variables. Se calculó el coeficiente de correlación de Spearman para evaluar la relación monotónica entre el DAP y las variables, sin requerir la asunción de normalidad.

Este enfoque permitió determinar la naturaleza de las relaciones entre el DAP, la altura total y la biomasa estimada, y proporciona una base estadística para evaluar si existe una correlación significativa entre estas variables en el bosque de colina baja

$$r_s = 1 - \frac{6\sum d^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

r_s = coeficiente de correlación por rangos de Spearman

d = diferencia entre los rangos (X menos Y)

n = número de datos

El grado de asociación entre las dos variables se evaluó mediante la siguiente tabla:

(Vela, 2019, p. 15).

Valor de “ Λ ” (+ ó -)			Grado de asociación
1,00			Perfecta
< 1	a	$\geq 0,75$	Excelente
< 0,75	a	$\geq 0,50$	Buena
< 0,50	a	$> 0,00$	Regular
0,00			Nula

3.5. Aspectos éticos

En esta investigación se respetaron los cuatro principios éticos fundamentales: autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia. Estos principios son fundamentales para garantizar la integridad y el bienestar de los participantes en cualquier estudio científico.

El principio de autonomía implica permitir que los participantes tomen decisiones informadas y voluntarias sobre su participación en el estudio. Al mencionar que la participación es totalmente opcional, se respeta este principio, brindando a los participantes la libertad de decidir si desean formar parte o no.

El principio de beneficencia se refiere a la obligación de maximizar los beneficios para los participantes y minimizar los posibles daños. El hecho de respetar el anonimato de los participantes contribuye a proteger su privacidad y confidencialidad, lo que es esencial para garantizar su bienestar.

El principio de no maleficencia implica evitar causar daño a los participantes. Al garantizar el anonimato y la confidencialidad, se protege a los participantes de cualquier posible daño o consecuencia negativa que pueda surgir de su participación en el estudio.

El principio de justicia se refiere a la equidad en el tratamiento de los participantes y la distribución justa de los beneficios y cargas del estudio. Al ofrecer la opción de solicitar información adicional sobre el estudio, se brinda a todos los participantes la oportunidad de obtener la misma información y participar de manera equitativa.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Composición florística del bosque de colina baja

La tabla 1 presenta un inventario de 60 especies arbóreas diferentes, destacando la presencia de *Iryanthera elliptica* (Cumala) como la especie más abundante, con un total de 1799 individuos. Asimismo, se observa la presencia de diversas entradas para los árboles cumala (géneros *Iryanthera*, *Virola* y *Osteophloeum*) y moena (géneros *Ocotea*, *Nectandra* y *Rhodostemonodaphne*), este último perteneciente a la familia Lauraceae.

También, revela una notable diversidad de familias botánicas, con un total de 20 diferentes representadas. Entre ellas, Fabaceae destaca como la más importante, con 12 especies que conforman el 20% del total. Le siguen Myristicaceae con 7 especies (11,67%), Lauraceae y Moraceae con 6 especies cada una (10%), y finalmente Apocynaceae y Malvaceae con 5 especies cada una (8,33%).

La tabla 1 revela un panorama fascinante de la diversidad arbórea en este bosque, con un registro de 60 especies distintas. Entre ellas, cinco se alzan como las más comunes, superando la barrera de los 100 individuos. *Eschweilera albiflora* (Machimango), con su imponente presencia, reina como la especie más abundante, con un total de 1695 individuos; *Iryanthera elliptica* (Cumala) le sigue de cerca con 1799 individuos, consolidando su posición como una de las especies dominantes del bosque; Moena (*Ocotea* sp.), con 446 individuos, se posiciona en un sólido tercer lugar, confirmando su importancia dentro de la comunidad arbórea; *Chrysophyllum cuneifolium* (Caimitillo), con 287 individuos, se ubica en el cuarto puesto, aportando su singularidad al ecosistema y *Anaueria brasiliensis* (Añuje rumo) completa el grupo con 206 individuos, sumando su vitalidad a la riqueza del bosque.

Asimismo, la tabla 1 presenta un panorama interesante en cuanto a la distribución de los individuos entre las diferentes especies arbóreas. Se observa una concentración notable en un número reducido de ellas, lo que se refleja en los siguientes datos: Las cinco especies más comunes (*Eschweilera albiflora*, *Iryanthera elliptica*, *Chrysophyllum cuneifolium* y *Anaueria brasiliensis*) suman un total de 4227 individuos, lo que representa el 56,7% del total de árboles registrados. Las 10 especies más comunes amplían este dominio aún más, alcanzando un total de 5322 individuos, equivalente a un 71,4% del total. En contraste, la mayoría de las especies (32) registran una cantidad inferior a 50 individuos cada una, lo que indica una menor presencia en el ecosistema.

El bosque presenta una alta diversidad de familias y especies arbóreas. Fabaceae, Moraceae y Lauraceae son familias importantes por su contribución a la estructura del bosque y la dinámica del ecosistema. Las especies más comunes, como *Eschweilera albiflora* y *Iryanthera elliptica*, son relevantes para la provisión de biomasa y la captura de carbono. La diversidad de especies arbóreas es vital para la conservación de la biodiversidad y la estabilidad del ecosistema.

La gran diversidad de especies arbóreas en el bosque de colina baja, resalta su valor ecológico y la necesidad de su protección. La información proporcionada en la tabla sirve como base para la planificación de estrategias de manejo forestal sostenible que aseguren la conservación de este ecosistema a largo plazo.

La información sobre la composición florística de un ecosistema, es decir, la identificación y caracterización de las especies de plantas que lo componen, es crucial por diversos motivos. Permite evaluar la riqueza y diversidad de especies, indicador vital de la salud del ecosistema y su capacidad para brindar servicios

ambientales. Además, facilita la identificación de áreas con alta biodiversidad, esenciales para la conservación. Del mismo modo, ayuda a comprender las interacciones entre las plantas y su entorno, información útil para la gestión y restauración de ecosistemas degradados. Finalmente, proporciona una base para el desarrollo de estrategias de manejo sostenible de los recursos naturales. En resumen, la composición florística es una herramienta fundamental para la conservación y gestión de los ecosistemas.

Las especies vegetales no son simples espectadoras en el ecosistema, sino actores con roles específicos. Cada una interactúa con otras especies, tejiendo una compleja red de relaciones que define la dinámica del ecosistema. Comprender estas interacciones es crucial para la conservación y el manejo del ecosistema. Algunas especies fijan nitrógeno en el suelo, nutriendo a las demás plantas. Otras son polinizadas por animales específicos, asegurando la reproducción de las especies y la continuidad del ecosistema. Y otras son fuente de alimento para diferentes animales, manteniendo el equilibrio ecológico.

La composición florística no solo nos habla de la salud del ecosistema, sino también del impacto que las actividades humanas tienen sobre él. La deforestación, la contaminación o la introducción de especies invasoras pueden alterar significativamente la composición de las especies vegetales en un área. Esta información es una herramienta invaluable para desarrollar estrategias de manejo ambiental. Al comprender cómo las actividades humanas afectan la composición florística, podemos tomar medidas para mitigar estos impactos y proteger la integridad del ecosistema.

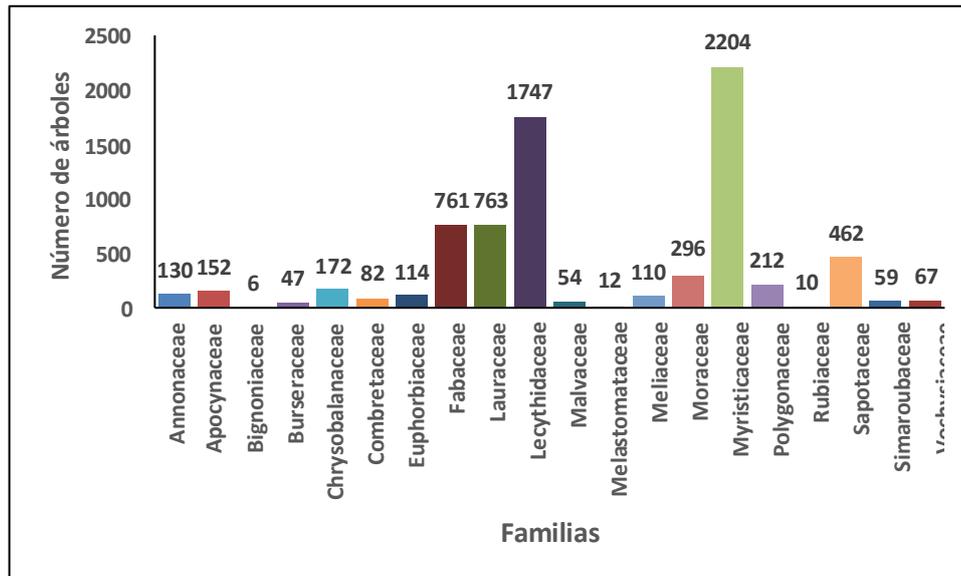


Gráfico 1. Distribución de la abundancia por familia

El gráfico 1 revela una notable diversidad de familias botánicas en el ecosistema, con 20 familias diferentes representadas. Myristicaceae destaca como la familia dominante, con un significativo número de árboles (2204), seguida por Lecythidaceae (1747), Lauraceae (763), Fabaceae (761), Sapotaceae (462) y Moraceae (296). Cabe destacar la presencia de cuatro familias con menos de 50 árboles cada una, lo que indica una menor representación en el ecosistema.

Tabla 1. Caracterización florística del bosque de colina baja

N°	Familia	Especie		N° de árboles
		Nombre científico	Nombre común	
1	MYRISTICACEAE	<i>Otoba glycyarpa</i>	Aguanillo	130
2	MYRISTICACEAE	<i>Caryocar microcarpum</i>	Almendro	17
3	FABACEAE	<i>Apuleia leiocarpa</i>	Ana caspi	23
4	MELIACEAE	<i>Carapa procera</i>	Andiroba	11
5	LAURACEAE	<i>Aniba hostmanniana</i>	Anis moena	6
6	LAURACEAE	<i>Anaueria brasiliensis</i>	Añuje rumo	206
7	FABACEAE	<i>Hymenaea courbaril</i>	Azucar huayo	72
8	MALVACEAE	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Bolaina	2
9	LECYTHIDACEAE	<i>Allantoma decandra</i>	Cachimbo	52
10	SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum cuneifolium</i>	Caimitillo	287
11	LAURACEAE	<i>Ocotea javitensis</i>	Canela moena	64
12	MORACEAE	<i>Maquira coriacea</i>	Capinuri	10
13	RUBIACEAE	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	Capirona	10
14	ANNONACEAE	<i>Guatteria phanerocampta</i>	Carahuasca	130
15	FABACEAE	<i>Dipteryx micrantha</i>	Charapilla	13
16	MORACEAE	<i>Pseudolmedia laevigata</i>	Chimicua	43
17	FABACEAE	<i>Diploptropis martiusii</i>	Chontaquiro	85
18	BURSERACEAE	<i>Protium altsonii</i>	Copal	47
19	MYRISTICACEAE	<i>Iryanthera elliptica</i>	Cumala	1799
20	MYRISTICACEAE	<i>Virola elongata</i>	Cumala blanca	16
21	MYRISTICACEAE	<i>Virola flexuosa</i>	Cumala caupuri	76
22	MYRISTICACEAE	<i>Iryanthera polyneura</i>	Cumala colorada	5
23	MYRISTICACEAE	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Cumala llorona	161
24	MORACEAE	<i>Clarisia racemosa</i>	Guariuba	61
25	FABACEAE	<i>Ormosia macrocalyx</i>	Huayruro	47
26	MALVACEAE	<i>Ceiba samauma</i>	Huimba	25
27	APOCYNACEAE	<i>Couma macrocarpa</i>	Leche caspi	25
28	APOCYNACEAE	<i>Macoubea sprucei</i>	Loro micuna	31
29	MALVACEAE	<i>Ceiba pentandra</i>	Lupuna	9
30	MALVACEAE	<i>Cavanillesia umbellata</i>	Lupuna colorada	1
31	LECYTHIDACEAE	<i>Eschweilera albiflora</i>	Machimango	1695
32	EUPHORBIACEAE	<i>Caryodendron orinocense</i>	Mani caspi	30
33	FABACEAE	<i>Vatairea erythrocarpa</i>	Mari mari	128
34	FABACEAE	<i>Pterocarpus amazonum</i>	Maria buena	11

N°	Familia	Especie		N° de árboles
		Nombre científico	Nombre común	
35	SIMAROUBACEAE	<i>Simarouba amara</i>	Marupa	59
36	LAURACEAE	<i>Ocotea leucoxylon</i>	Moena	446
37	LAURACEAE	<i>Nectandra hihua</i>	Moena amarilla	29
38	LAURACEAE	<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>	Moena negra	12
39	APOCYNACEAE	<i>Parahancornia peruviana</i>	Naranjo podrido	19
40	MORACEAE	<i>Brosimum rubescens</i>	Palisangre	165
41	EUPHORBIACEAE	<i>Gavarretia terminalis</i>	Panguana	16
42	CHRYSOBALANACEAE	<i>Couepia bernardii</i>	Parinari	172
43	FABACEAE	<i>Parkia ulei</i>	Pashaco	207
44	FABACEAE	<i>Macrolobium discolor</i>	Pashaco blanco	20
45	FABACEAE	<i>Parkia aff. panurensis</i>	Pashaco	99
46	APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma schultesii</i>	Quillobordon	10
47	VOCHYSIACEAE	<i>Vochysia vismiifolia</i>	Quillosa	67
48	SAPOTACEAE	<i>Pouteria ephedrantha</i>	Quinilla	175
49	APOCYNACEAE	<i>Aspidosperma excelsum</i>	Remo caspi	67
50	MORACEAE	<i>Ficus dugandii</i>	Renaco	10
51	MELIACEAE	<i>Guarea guidonia</i>	Requia	99
52	MELASTOMATAACEAE	<i>Miconia traillii</i>	Rifari	12
53	MALVACEAE	<i>Matisia dolichopoda</i>	Sapotillo	17
54	FABACEAE	<i>Dipteryx odorata</i>	Shihuahuaco	5
55	EUPHORBIACEAE	<i>Hevea guianensis</i>	Shiringa	68
56	BIGNONIACEAE	<i>Handroanthus chrysanthus</i>	Tahuari	6
57	MORACEAE	<i>Brosimum alicastrum</i>	Tamamuri	7
58	POLYGONACEAE	<i>Triplaris peruviana</i>	Tangarana	212
59	FABACEAE	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Tornillo	51
60	COMBRETACEAE	<i>Terminalia dichotoma</i>	Yacushapana	82
Total				7460

4.2. Número de árboles

La tabla 2 nos ofrece una información detallada de la distribución de las especies arbóreas en un bosque de colina baja (18,392 árboles/ha; 7460 árboles), desglosando su presencia por tamaño y especie. Cada fila se convierte en la tarjeta de identidad de una especie, revelando su nombre científico y su población en

diferentes rangos de diámetro (10 cm, 20 cm, entre otros). La columna N° de árb/ha nos permite observar la densidad de cada especie en cada rango diamétrico, mientras que la columna N° de árb. nos da una cifra total de su presencia en el bosque, sin importar su tamaño.

La tabla 1 revela una estructura arbórea con una preponderancia de individuos en la clase diamétrica entre 10 y 50 cm. *Iryanthera elliptica* se destaca como la especie más abundante (4,44 árboles/ha), seguida por *Eschweilera albiflora* (4,18 árboles/ha) y *Ocotea leucoxylon* (1,10 árboles/ha). Las dos primeras presentan una población madura y estable, mientras que *Ocotea leucoxylon* se encuentra en fase de crecimiento. La tabla se convierte en una herramienta fundamental para comprender la dinámica del bosque, permitiendo realizar análisis detallados de la composición y estructura de la comunidad arbórea.

El total por clase diamétrica emerge como una métrica crucial para descubrir la estructura diamétrica del bosque, es decir, la distribución de los árboles en función de su tamaño. Este valor se obtiene al sumar el número de árboles por hectárea en todas las especies para cada clase diamétrica, brindando una visión holística de la composición del ecosistema. A partir de este análisis, podemos identificar patrones en la distribución de los árboles, como la presencia de una abundancia dominante en una clase diamétrica específica o la existencia de una estructura diamétrica irregular, indicativa de posibles perturbaciones en el bosque.

Al analizar la distribución diamétrica, se observa una tendencia decreciente en el número de árboles a medida que aumenta el diámetro. La mayor cantidad de individuos se concentra en las clases diamétricas más pequeñas (10 a 50 cm), lo que indica una alta tasa de reclutamiento y regeneración natural en el bosque. En

contraste, las clases diamétricas mayores (80 cm o más) albergan la menor cantidad de árboles, reflejando una población de árboles maduros y en etapa de senescencia. Esta tendencia es crucial para comprender la dinámica del bosque, ya que permite inferir sobre la salud y el estado de sucesión del ecosistema.

La tabla 2 revela una tendencia decreciente en el número de árboles a medida que aumenta el diámetro, una característica común en los bosques tropicales. Esta dinámica se explica por la interacción de diversos factores: crecimiento acelerado y mayor mortalidad en los árboles jóvenes, competencia por recursos que beneficia a los árboles de mayor tamaño, y la inevitable senescencia y muerte de los árboles viejos. Esta distribución diamétrica nos permite inferir sobre la salud del bosque, su estado de sucesión y las estrategias de manejo sostenible que se deben implementar para asegurar su supervivencia a largo plazo.

La clase diamétrica del bosque nos muestra una exuberante población de árboles jóvenes en la clase de 10 cm, con 2,46 árboles por hectárea. A medida que avanzamos en las clases de 20 a 50 cm, encontramos una cantidad considerable de árboles en pleno crecimiento, con valores entre 5,85 a 2,24 árboles por hectárea. Esta dinámica refleja un bosque rebosante de vida, con una notable capacidad de regeneración y desarrollo que garantiza su futuro. La presencia de árboles en diferentes etapas de crecimiento evidencia la salud del ecosistema y su potencial para prosperar a largo plazo.

Las clases diamétricas de 60 a 70 cm revelan una notable reducción en la cantidad de árboles por hectárea, con un valor de 0,90 árboles/ha (366 individuos). Esta transición natural hacia la madurez marca una etapa crucial en la vida del bosque.

Los árboles maduros, aunque menos numerosos, cumplen funciones vitales como reservorio de carbono, futuro del bosque, entre otros.

En las clases diamétricas de 80 cm o más, encontramos la menor cantidad de árboles por hectárea, con valores que oscilan entre 0,33 a 0,05 árboles/ha (equivalentes a 134 y 19 individuos respectivamente). Esta notable reducción en la densidad poblacional refleja la etapa final del ciclo de vida de los árboles, donde encontramos a los viejos del bosque.

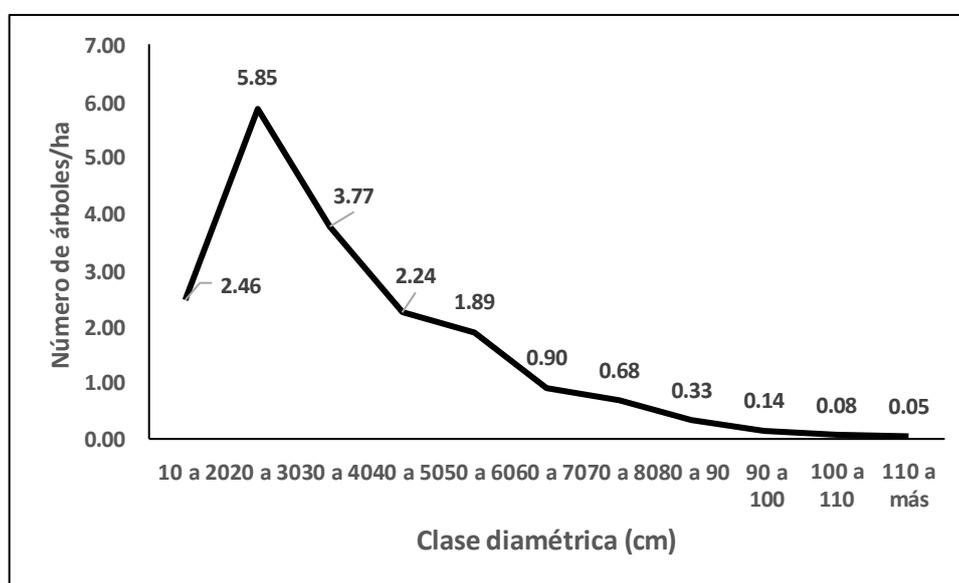


Gráfico 2. Distribución del número de árboles por clase diamétrica

El gráfico 2 muestra la distribución del número de árboles por clase diamétrica. En el eje X encontramos las clases diamétricas, que van desde los 10 cm hasta los 110 cm a más. En el eje Y se encuentra el número de árboles por hectárea.

El bosque presenta una estructura dinámica y saludable, con una distribución diamétrica simulando forma de "J" invertida. La mayor cantidad de árboles se encuentra en la clase diamétrica de 20 a 30 cm (5,85 árboles/ha), lo que indica una vigorosa regeneración natural. El número de árboles por hectárea disminuye a medida que aumenta el diámetro, lo cual es normal en un bosque equilibrado.

La presencia de árboles en todas las clases diamétricas es una señal positiva, ya que indica que hay una buena representación de árboles en todas las fases de desarrollo, desde jóvenes hasta viejos. Esto significa que el bosque está en una fase de madurez y que tiene un futuro prometedor

La distribución diamétrica es como la huella digital del bosque, una radiografía que nos revela su salud, dinámica y diversidad. Al analizar la cantidad de árboles en diferentes clases diamétricas, podemos comprender: Su estado de desarrollo (Si hay muchos árboles jóvenes, el bosque está en regeneración. Si hay muchos árboles viejos, está en madurez). Su equilibrio (Si hay una distribución uniforme en todas las clases diamétricas, el bosque está sano. Si hay una dominancia de árboles jóvenes o viejos, puede haber problemas). Su diversidad (Las diferentes especies tienen diferentes tasas de crecimiento y longevidad, lo que se refleja en la distribución diamétrica). Comprender la distribución diamétrica es fundamental para la gestión forestal sostenible. Permite tomar decisiones informadas sobre la tala, la reforestación y la protección del bosque.

Tabla 2. Distribución del número de árboles por especie y por diámetro

Especies	Clase diamétrica por especie (cm)											110 A +	N° de árb/ha	N° de árb.	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100					
	A 20	A 30	A 40	A 50	A 60	A 70	A 80	A 90	A 100	A 110					
<i>Iryanthera elliptica</i>	0,910	1,795	0,860	0,417	0,274	0,076	0,069	0,035						4,435	1799
<i>Eschweilera albiflora</i>	0,582	1,713	1,031	0,343	0,291	0,111	0,069	0,020	0,017	0,002				4,179	1695
<i>Ocotea leucoxylon</i>	0,163	0,343	0,212	0,141	0,143	0,039	0,039	0,012	0,007					1,100	446
<i>Chrysophyllum cuneifolium</i>	0,148	0,249	0,126	0,091	0,071	0,010	0,012							0,708	287
<i>Triplaris peruviana</i>	0,054	0,121	0,091	0,052	0,069	0,057	0,032	0,025	0,007	0,015				0,523	212
<i>Parkia ulei</i>	0,010	0,089	0,071	0,074	0,089	0,074	0,071	0,007	0,015	0,010				0,510	207
<i>Anaueria brasiliensis</i>	0,027	0,079	0,091	0,081	0,071	0,030	0,081	0,039	0,007					0,508	206
<i>Pouteria ephedrantha</i>	0,079	0,116	0,081	0,076	0,052	0,022	0,005							0,431	175
<i>Couepia bernardii</i>	0,047	0,131	0,071	0,091	0,049	0,025	0,010							0,424	172
<i>Brosimum rubescens</i>	0,005	0,108	0,099	0,039	0,054	0,030	0,035	0,010	0,012	0,007	0,007			0,407	165
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	0,032	0,091	0,111	0,064	0,067	0,022	0,010							0,397	161
<i>Guatteria phanerocampta</i>	0,079	0,168	0,054	0,017	0,002									0,321	130
<i>Otoba glycyarpa</i>	0,047	0,116	0,059	0,027	0,032	0,017	0,022							0,321	130
<i>Vatairea erythrocarpa</i>	0,020	0,049	0,047	0,054	0,047	0,054	0,020	0,020	0,005					0,316	128
<i>Parkia aff. panurensis</i>		0,022	0,037	0,057	0,047	0,025	0,030	0,020	0,007					0,244	99
<i>Guarea guidonia</i>	0,010	0,057	0,081	0,032	0,042	0,015	0,002	0,005						0,244	99
<i>Diplotropis martiusii</i>	0,020	0,069	0,057	0,025	0,025	0,010		0,005						0,210	85
<i>Terminalia dichotoma</i>	0,015	0,035	0,035	0,042	0,022	0,012	0,022	0,012	0,002	0,005				0,202	82
<i>Virola flexuosa</i>	0,022	0,039	0,064	0,044	0,017									0,187	76
<i>Hymenaea courbaril</i>	0,017	0,037	0,067	0,027	0,020	0,010								0,178	72
<i>Hevea guianensis</i>	0,015	0,035	0,047	0,057	0,010	0,005								0,168	68
<i>Aspidosperma excelsum</i>	0,005	0,047	0,020	0,017	0,030	0,022		0,020		0,005				0,165	67
<i>Vochysia vismiifolia</i>	0,020	0,020	0,017	0,047	0,032	0,012	0,007	0,005	0,005					0,165	67
<i>Ocotea javitensis</i>	0,022	0,049	0,047	0,025	0,007	0,007								0,158	64

Especies	Clase diamétrica por especie (cm)											110 A +	N° de árb/ha	N° de árb.
	10 A 20	20 A 30	30 A 40	40 A 50	50 A 60	60 A 70	70 A 80	80 A 90	90 A 100	100 A 110				
<i>Clarisia racemosa</i>		0,022	0,027	0,054	0,020	0,015	0,012						0,150	61
<i>Simarouba amara</i>		0,010	0,027	0,037	0,035	0,015	0,010	0,012					0,145	59
<i>Allantoma decandra</i>		0,035	0,027	0,012	0,012	0,005	0,010	0,012	0,015				0,128	52
<i>Cedrelinga cateniformis</i>		0,005	0,012	0,015	0,002	0,007	0,022	0,017	0,007	0,017	0,020		0,126	51
<i>Ormosia macrocalyx</i>	0,005	0,012	0,020	0,032	0,032	0,005	0,010						0,116	47
<i>Protium altsonii</i>	0,035	0,032	0,022	0,010	0,017								0,116	47
<i>Pseudolmedia laevigata</i>	0,005	0,032	0,037	0,015	0,017								0,106	43
<i>Macoubea sprucei</i>					0,022	0,027	0,012	0,012		0,002			0,076	31
<i>Caryodendron orinocense</i>	0,002	0,007	0,005		0,007	0,017	0,010	0,007	0,010	0,002	0,005		0,074	30
<i>Nectandra hihua</i>				0,017	0,025	0,025	0,005						0,071	29
<i>Couma macrocarpa</i>		0,020	0,012	0,010	0,007	0,012							0,062	25
<i>Ceiba samauma</i>		0,007	0,020	0,007	0,002	0,005	0,010		0,010				0,062	25
<i>Apuleia leiocarpa</i>		0,007	0,005	0,002	0,012	0,010	0,005	0,005	0,002	0,002	0,005		0,057	23
<i>Macrolobium discolor</i>					0,007	0,007	0,020	0,012	0,002				0,049	20
<i>Parahancornia peruviana</i>		0,030	0,010	0,007									0,047	19
<i>Matisia dolichopoda</i>	0,017	0,012	0,012										0,042	17
<i>Caryocar microcarpum</i>			0,007	0,020		0,010		0,005					0,042	17
<i>Gavarretia terminalis</i>			0,012		0,012	0,007				0,007			0,039	16
<i>Virola elongata</i>	0,007			0,015	0,017								0,039	16
<i>Dipteryx micrantha</i>			0,007		0,005	0,015		0,005					0,032	13
<i>Miconia traillii</i>	0,020		0,005	0,005									0,030	12
<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>				0,002	0,015	0,012							0,030	12
<i>Carapa procera</i>	0,005	0,007		0,010	0,005								0,027	11
<i>Pterocarpus amazonum</i>					0,007	0,010	0,010						0,027	11
<i>Aspidosperma schultesii</i>		0,005	0,005	0,005	0,010								0,025	10

Especies	Clase diamétrica por especie (cm)											110 A +	N° de árb/ha	N° de árb.
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	100			
	A 20	A 30	A 40	A 50	A 60	A 70	A 80	A 90	A 100	A 110				
<i>Calycophyllum spruceanum</i>	0,005	0,010	0,010										0,025	10
<i>Maquira coriacea</i>	0,007	0,007	0,005	0,005									0,025	10
<i>Ficus dugandii</i>					0,010		0,007	0,005	0,002				0,025	10
<i>Ceiba pentandra</i>					0,007	0,005						0,010	0,022	9
<i>Brosimum alicastrum</i>				0,010	0,007								0,017	7
<i>Aniba hostmanniana</i>	0,005	0,010											0,015	6
<i>Handroanthus chrysanthus</i>		0,005		0,010									0,015	6
<i>Dipteryx odorata</i>					0,007	0,002			0,002				0,012	5
<i>Iryanthera polyneura</i>				0,002	0,002	0,002	0,002	0,002					0,012	5
<i>Guazuma ulmifolia</i>			0,002		0,002								0,005	2
<i>Cavanillesia umbellata</i>						0,002							0,002	1
Total	2,460	5,853	3,767	2,244	1,891	0,902	0,683	0,330	0,138	0,076	0,047	0,047	18,392	7460
Total general	998	2374	1528	910	767	366	277	134	56	31	19	19	18,392	7460

4.3. Altura total promedio de árboles

La tabla 3 muestra la altura total promedio por clase diamétrica para un conjunto de árboles. En el eje X encontramos las clases diamétricas, que van desde los 10 cm hasta los 110 cm. En el eje Y se encuentra la altura total promedio en metros.

La altura total promedio aumenta a medida que aumenta el diámetro de los árboles, lo que confirma una relación positiva entre ambas variables. Esta tendencia se observa en todas las clases diamétricas analizadas. El mayor crecimiento en altura se observa entre las clases diamétricas de 10 cm a 40 cm. En este rango, la altura total promedio aumenta en más de seis metros, lo que representa un crecimiento significativo. La altura máxima promedio se alcanza en la clase diamétrica de 110 cm, con un valor de 22,05 metros. Esto indica que los árboles más grandes del conjunto de datos son aquellos que se encuentran en esta clase diamétrica.

Tabla 3. Altura total promedio

Clase diamétrica (cm)	Altura total promedio (m)
10	12,11
20	14,66
30	16,80
40	18,26
50	19,13
60	20,21
70	20,89
80	21,37
90	21,09
100	20,84
110	22,05

Esta información nos permite comprender cómo se desarrolla la altura de los árboles a lo largo de su vida. La relación positiva entre diámetro y altura se debe

al crecimiento continuo del tronco a medida que el árbol envejece. El mayor crecimiento en altura en las clases diamétricas más pequeñas se explica por la fase de crecimiento rápido que experimentan los árboles jóvenes. La altura máxima promedio alcanzada en la clase diamétrica de 110 cm indica que los árboles de esta clase han alcanzado la madurez y su crecimiento se ha ralentizado.

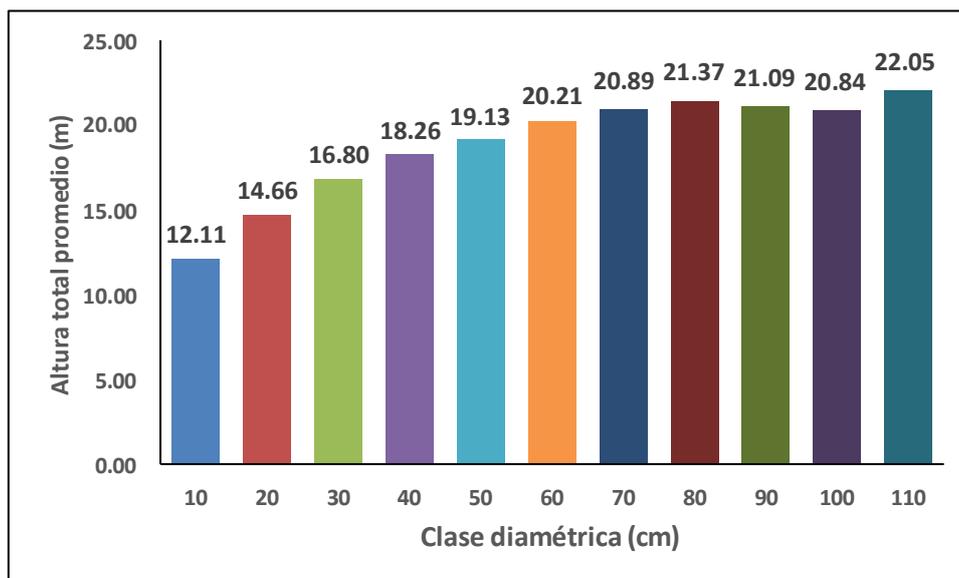


Gráfico 3. Distribución de altura total promedio

El gráfico 3 nos ofrece una imagen detallada de la relación entre el diámetro y la altura total promedio de los árboles en el bosque de estudio. En el eje X se encuentran las clases diamétricas, que van desde los 10 cm hasta los 110 cm. En el eje Y se encuentra la altura total promedio en metros.

El gráfico muestra una tendencia ascendente clara: la altura total promedio aumenta a medida que aumenta el diámetro de los árboles. Se observa una curva suave, lo que indica que la relación entre diámetro y altura no es totalmente lineal. El mayor crecimiento en altura se observa en las clases diamétricas más pequeñas (10 cm a 40 cm). La altura máxima promedio se alcanza en la clase diamétrica de 110 cm.

La altura total promedio de los árboles es vital para la conservación y manejo de los bosques. Permite estimar la biomasa y carbono almacenados, evaluar la salud del bosque, planificar el manejo forestal sostenible, comprender su impacto en el ciclo del agua y valorar su importancia como hábitat. Conocer este dato es fundamental para proteger y restaurar estos ecosistemas vitales a nivel local y global.

4.4. Modelo alométrico que mejor se ajusta para estimar la altura total

La tabla 4 te permite comparar la precisión de varios modelos alométricos para estimar la altura total de los árboles. Analiza los estadísticos (R^2 , R^2 ajustado, SEE) para elegir el modelo más adecuado a nuestras necesidades. El mejor modelo dependerá de lo que requerimos. Elegir el modelo con el R^2 más alto y el SEE más bajo para una estimación precisa. Si se necesita un modelo simple, elegir uno con menos variables.

Para elegir el mejor modelo alométrico, se analizan tres métricas: R^2 , R^2 ajustado y SEE. Buscamos un R^2 alto ($>0,8$) para explicar la variación en la altura total. El R^2 ajustado cercano al R^2 indica un buen ajuste sin sobreajuste. Un SEE bajo ($<10\%$ de la media de la altura) indica precisión en la predicción. Se busca un balance entre precisión y simplicidad, y se puede validar con un conjunto de datos independiente.

El modelo cúbico presenta un R^2 elevado (0,992), lo que indica que explica una gran parte de la variación en la altura total de los árboles. Además, el R^2 ajustado (0,989) es muy similar al R^2 , lo que sugiere que el modelo no está sobreajustado. El SEE bajo (0,328) indica que las predicciones del modelo son precisas. Finalmente, la buena distribución de residuos (0,754) confirma la calidad del ajuste del modelo.

El análisis de las métricas R^2 (0,992), R^2 ajustado (0,989), SEE (0,328) y la distribución de residuos (0,754) demuestra que el modelo cúbico presenta el mejor ajuste a los datos para estimar la altura total de los árboles. El modelo cúbico se destaca como la mejor opción debido a su precisión, confiabilidad y ajuste superior a los datos, en comparación con otros modelos.

$$AT = 8,751 + (0,368 \times DAP) + (-0,004 \times DAP^2) + (0,00001371 \times DAP^3)$$

Donde: AT= altura total estimada; DAP= Diámetro a la altura del pecho

Tabla 4. Modelos alométricos evaluados a la altura total promedio

Ecuación	Resumen de los modelos				Parámetros estimados				r	R ²	R ² ajustado	SEE	Residuo
	gl1	gl2	F	Sig.	Const.	b1	b2	b3					
Lineal	1	9	44,523	0,000	13,659	0,087			0,912	0,832	0,813	1,361	16,679
Logarítmica	1	9	395,744	0,000	2,581	4,180			0,989	0,978	0,975	0,495	2,206
Inverso	1	9	78,535	0,000	21,889	-110,490			0,947	0,897	0,886	1,065	10,198
Cuadrático	2	8	203,167	0,000	10,248	0,244	-0,001		0,990	0,981	0,976	0,489	1,915
Cúbico	3	7	304,490	0,000	8,751	0,368	-0,004	1,371E-5	0,996	0,992	0,989	0,328	0,754
Compuesto	1	9	32,521	0,000	13,773	1,005			0,885	0,783	0,759	0,092	0,076
Potencia	1	9	275,098	0,000	7,104	0,247			0,984	0,968	0,965	0,035	0,011
S-curva	1	9	139,024	0,000	3,106	-6,711			0,969	0,939	0,932	0,049	0,021
Crecimiento	1	9	32,521	0,000	2,623	0,005			0,885	0,783	0,759	0,092	0,076
Exponencial	1	9	32,521	0,000	13,773	0,005			0,885	0,783	0,759	0,092	0,076
Logística	1	9	32,521	0,000	0,073	0,995			0,885	0,783	0,759	0,092	0,076

El gráfico 4 presenta la relación entre la altura total de un árbol (en metros) y el diámetro a la altura del pecho (DAP) del mismo árbol (en centímetros). El DAP se mide a una altura estándar de 1,3 metros del suelo. Esta información permite visualizar la tendencia de crecimiento en altura en función del grosor del tronco.

La línea de mejor ajuste en el gráfico 4 es una curva cúbica, lo que indica que la relación entre la altura total y el DAP no es lineal. Esto significa que la tasa de crecimiento en altura de los árboles no es constante a lo largo de su vida. Los árboles jóvenes crecen más rápido que los árboles viejos. La ecuación de la curva se puede utilizar para predecir la altura total de un árbol a partir de su DAP.

El gráfico muestra que existe una fuerte relación positiva entre la altura total y el DAP. La línea de color verde de mejor ajuste indica que la tasa de crecimiento de la altura total disminuye a medida que aumenta el DAP. Estos resultados sugieren que el DAP es un buen predictor de la altura total de un árbol.

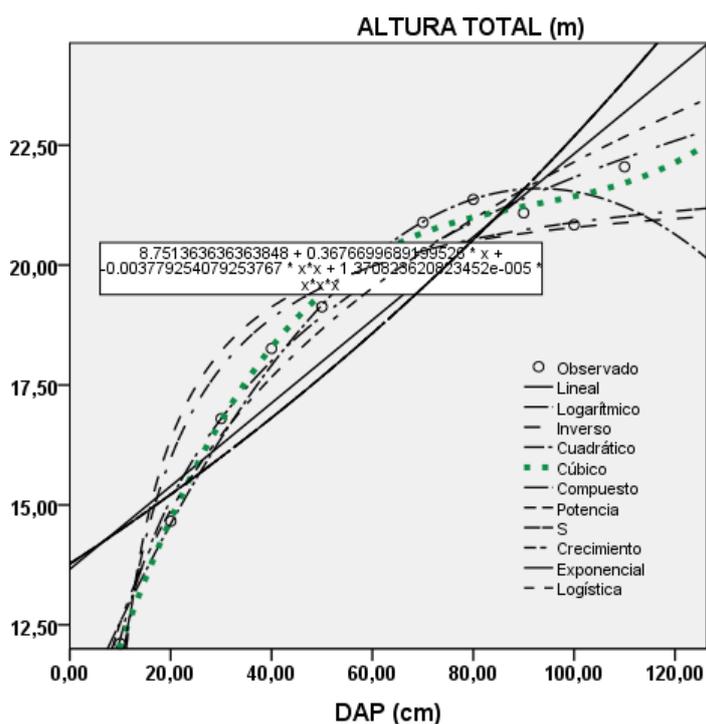


Gráfico 4. Modelo de predicción de la altura total de un árbol

4.4. Biomasa

La tabla 5 presenta la distribución de la biomasa por clase diamétrica y especie en un bosque de colina baja. La información permite observar la cantidad de biomasa presente en diferentes rangos de diámetro para cada especie, así como la biomasa

total de cada especie y la biomasa total del bosque. Esta información es útil para comprender la estructura del bosque, la composición de la biomasa y la dinámica del ecosistema.

En un bosque de colina baja, la biomasa total se estima en 9130233,88 kg (22509,88 kg/ha). Las especies con mayor cantidad de biomasa son *Eschweilera albiflora* con 3967,11 kg/ha (17,62%), *Iryanthera elliptica* con 2728,90 kg/ha (12,12%) y *Parkia ulei* con 1332,72 kg/ha (5,92%). En cuanto a las clases diamétricas, las que mayor biomasa contienen son 50-60 cm (4111,84 kg/ha, 1667803,84 kg), 40-50 cm (3141,66 kg/ha, 1274287,44 kg) y 70-80 cm (2964,41 kg/ha, 1202392,98 kg).

Las especies que contienen mayor biomasa están representadas por *Eschweilera albiflora*: Esta especie tiene la mayor biomasa total (3967,11 kg/ha; 1609099,79 kg) y también presenta una alta biomasa en las clases diamétricas mayores; *Iryanthera elliptica*: Se ubica en segundo lugar en cuanto a biomasa total (2728,90 kg/ha; 1106867,37 kg) y presenta una distribución de biomasa similar a *Eschweilera albiflora* y *Parkia ulei*: Esta especie tiene una biomasa total de 1332,72 kg/ha (540564,90 kg) y se destaca por tener una alta biomasa en las clases diamétricas intermedias. Por el contrario, las especies con menor biomasa total contienen *Aniba hostmanniana*: Esta especie tiene la menor biomasa total (3,84 kg/ha; 1556,70 kg) y se encuentra en las últimas posiciones en todas las clases diamétricas. *Guazuma ulmifolia*: Presenta una biomasa total baja (4,70 kg/ha; 1905,60 kg) y se caracteriza por tener una baja biomasa en dos clases diamétricas. *Cavanillesia umbellata*: Con una biomasa total de 6,46 kg/ha (2620,87 kg), se encuentra entre las especies con menor biomasa total y también se presenta en una sola clase diamétrica.

En las clases diamétricas menores (10-30 cm), las especies *Eschweilera albiflora*, *Iryanthera elliptica* y *Parkia ulei* dominan la biomasa. En las clases intermedias (40-60 cm), la biomasa se distribuye de forma más uniforme entre las especies, con *Parkia ulei* aún destacando. Finalmente, en las clases mayores (70-100 cm), *Eschweilera albiflora* e *Iryanthera elliptica* vuelven a ser las especies con mayor biomasa.

La distribución de la biomasa por clase diamétrica presenta una notable variación entre las especies: *Eschweilera albiflora* e *Iryanthera elliptica*: Poseen una alta biomasa en todas las clases diamétricas, destacándose como las especies con mayor biomasa total. *Parkia ulei*: Se caracteriza por una mayor concentración de biomasa en las clases diamétricas intermedias. *Aniba hostmanniana* y *Guazuma ulmifolia*: Presentan una baja biomasa en todas las clases diamétricas, siendo las especies con menor biomasa total.

La distribución de la biomasa por clase diamétrica es un indicador crucial de la salud del bosque. Los bosques con una distribución equilibrada en todas las clases diamétricas son más resilientes a las perturbaciones. El análisis de la biomasa por clase diamétrica es útil para la gestión forestal, ya que proporciona información sobre la cantidad de madera disponible en diferentes tamaños, lo que permite tomar decisiones sobre la tala y la reforestación.

Tabla 5. Distribución de biomasa por clase diamétrica y por especie

Especies	Biomasa por clase diamétrica por especie (kg)											Biomasa total (kg/ha)	Biomasa total (kg)
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110 A +		
	A 20	A 30	A 40	A 50	A 60	A 70	A 80	A 90	A 100	A 110			
<i>Eschweilera albiflora</i>	83,13	684,94	875,22	550,16	722,51	443,43	315,43	139,98	129,90	22,41		3967,11	1609099,79
<i>Iryanthera elliptica</i>	73,23	513,59	543,33	476,19	490,38	212,14	257,48	162,56				2728,90	1106867,37
<i>Parkia ulei</i>	1,56	38,50	65,40	115,14	214,48	264,91	360,04	51,41	122,47	98,83		1332,72	540564,90
<i>Ocotea leucoxydon</i>	15,98	118,87	166,90	186,72	290,29	126,98	170,62	60,22	56,22			1192,79	483808,22
<i>Anaueria brasiliensis</i>	3,94	32,71	66,35	116,21	154,65	103,63	326,08	221,79	50,94			1076,30	436556,55
<i>Triplaris peruviana</i>	8,43	43,76	62,69	62,49	138,06	165,56	125,97	130,41	41,20	112,17		890,75	361296,57
<i>Brosimum rubescens</i>	0,56	38,83	67,03	53,74	117,00	86,23	154,12	60,77	92,80	55,44	82,01	808,54	327950,68
<i>Cedrelinga cateniformis</i>		2,25	13,39	25,69	6,10	28,17	130,19	113,36	48,58	177,53	243,74	788,99	320022,81
<i>Vatairea erythrocarpa</i>	2,76	23,46	42,34	92,32	118,08	183,86	102,05	139,78	39,96			744,61	302019,56
<i>Parkia aff. panurensis</i>		10,24	34,29	94,81	114,15	91,02	139,28	122,52	62,19			668,48	271141,94
<i>Chrysophyllum cuneifolium</i>	20,94	97,66	115,93	153,00	176,21	38,41	64,18					666,33	270271,14
<i>Couepia bernardii</i>	4,85	62,50	62,63	153,84	144,84	97,96	52,47					579,09	234884,87
<i>Pouteria ephedrantha</i>	9,20	56,31	82,99	128,44	146,24	90,55	24,74					538,47	218409,91
<i>Terminalia dichotoma</i>	2,20	9,47	25,40	65,29	49,49	40,18	104,91	76,47	23,71	53,50		450,63	182781,12
<i>Osteophloeum platyspermum</i>	2,76	28,66	71,24	70,44	115,83	55,29	32,14					376,37	152657,85
<i>Aspidosperma excelsum</i>	0,54	14,00	16,65	24,41	62,73	69,71		126,84		31,39		346,26	140448,21
<i>Allantoma decandra</i>		11,51	22,99	19,62	38,11	22,29	45,77	72,85	89,14			322,28	130721,35
<i>Otoba glycyarpa</i>	5,01	35,47	41,71	33,84	60,96	46,71	84,68					308,38	125082,42
<i>Caryodendron orinocense</i>	0,09	1,92	3,65		16,89	46,97	39,27	35,62	73,69	26,67	60,66	305,44	123889,59
<i>Guarea guidonia</i>	0,53	19,85	63,35	35,31	93,90	44,74	8,56	32,52				298,76	121179,10
<i>Vochysia vismiifolia</i>	1,35	6,77	13,26	60,39	65,04	35,92	33,78	27,80	36,41			280,72	113860,96
<i>Macoubea sprucei</i>					43,32	74,24	53,95	56,53		24,21		252,26	102318,69
<i>Apuleia leiocarpa</i>		4,28	4,78	4,10	34,07	39,25	19,89	36,67	23,11	24,20	60,48	250,83	101740,06
<i>Diploptropis martiusii</i>	3,04	28,25	51,93	38,00	59,29	35,26		27,80				243,56	98791,73

Especies	Biomasa por clase diamétrica por especie (kg)											Biomasa total (kg/ha)	Biomasa total (kg)	
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110 A +			
	A 20	A 30	A 40	A 50	A 60	A 70	A 80	A 90	A 100	A 110				
<i>Clarisia racemosa</i>		8,74	24,46	78,91	35,11	43,28	51,83						242,33	98291,19
<i>Hymenaea courbaril</i>	2,61	17,83	71,81	44,42	48,75	41,21							226,63	91922,14
<i>Ormosia macrocalyx</i>	0,63	5,94	14,53	52,28	70,00	13,96	50,75						208,10	84406,01
<i>Macrobium discolor</i>					16,61	21,70	79,82	65,18	13,73				197,04	79921,08
<i>Simarouba amara</i>		2,07	14,78	34,93	51,69	27,56	25,04	40,69					196,76	79806,23
<i>Nectandra hihua</i>				27,58	51,15	65,18	16,94						160,85	65242,58
<i>Ceiba pentandra</i>					11,02	12,92					117,68		141,62	57441,50
<i>Hevea guianensis</i>	1,41	10,46	28,54	61,22	20,54	17,39							139,55	56601,67
<i>Virola flexuosa</i>	1,74	11,59	41,99	47,50	26,55								129,37	52472,46
<i>Ocotea javitensis</i>	3,15	15,16	37,29	34,43	17,11	21,17							128,32	52046,42
<i>Guatteria phanerocampta</i>	8,76	49,17	39,95	21,71	4,36								123,95	50277,28
<i>Gavarretia terminalis</i>			7,06		27,45	17,40					60,07		111,98	45421,60
<i>Ceiba samauma</i>		1,47	9,64	7,00	2,70	14,14	26,03		47,65				108,63	44060,61
<i>Dipteryx micrantha</i>			6,17		10,96	53,84		35,41					106,38	43147,37
<i>Pseudolmedia laevigata</i>	0,25	12,80	26,54	20,03	33,24								92,86	37664,71
<i>Pterocarpus amazonum</i>					12,40	39,52	35,69						87,60	35533,11
<i>Couma macrocarpa</i>		4,98	9,88	17,73	15,51	39,40							87,49	35488,67
<i>Ficus dugandii</i>					18,69		26,64	22,05	14,20				81,59	33094,72
<i>Protium altsonii</i>	3,37	11,70	12,29	13,28	35,38								76,03	30838,86
<i>Caryocar microcarpum</i>			4,38	20,37			21,87	25,08					71,69	29079,34
<i>Rhodostemonodaphne kunthiana</i>				3,38	26,75	29,53							59,66	24197,82
<i>Virola elongata</i>	0,92			21,85	31,78								54,54	22122,88
<i>Dipteryx odorata</i>					18,01	8,61			15,41				42,03	17046,57
<i>Aspidosperma schultesii</i>		3,14	3,00	9,01	22,78								37,93	15384,59
<i>Iryanthera polyneura</i>				3,46	5,35	5,57	6,06	7,38					27,81	11280,39

Biomasa por clase diamétrica por especie (kg)														
20 A 30	30 A 40	40 A 50	50 A 60	60 A 70	70 A 80	80 A 90	90 A 100	100 A 110	110 A +	Biomasa total (kg/ha)	Biomasa total (kg)			
<i>Carapa procera</i>		0,68	1,78		13,86	8,97						25,29	10257,90	
<i>Brosimum alicastrum</i>					10,85	12,81						23,66	9598,56	
<i>Parahancornia peruviana</i>			9,10	5,25	7,39							21,74	8819,31	
<i>Handroanthus chrysanthus</i>			1,48		16,71							18,19	7378,51	
<i>Miconia trillii</i>		2,05		4,55	6,29							12,89	5226,83	
<i>Maquira coriacea</i>		0,35	2,36	2,64	7,33							12,68	5142,65	
<i>Calycophyllum spruceanum</i>		0,63	3,42	6,98								11,04	4476,47	
<i>Matisia dolichopoda</i>		1,11	2,30	6,69								10,10	4095,31	
<i>Cavanillesia umbellata</i>							6,46					6,46	2620,87	
<i>Guazuma ulmifolia</i>				1,16		3,54						4,70	1905,60	
<i>Aniba hostmanniana</i>		0,42	3,42									3,84	1556,70	
Total		268,16	2062,72	2893,01	3141,66	4111,84	2944,13	2964,41	1891,66	981,32	686,42	564,57	22509,88	9130233,88
Total general		108767,34	836660,48	1173432,62	1274287,44	1667803,84	1194170,03	1202392,98	767276,44	398031,26	278417,24	228994,21	9130233,88	

En el gráfico 5, se presenta la distribución de la biomasa total (En kilogramos por hectárea) según las distintas clases diamétricas (En centímetros) en un bosque de colina baja. Las clases diamétricas están organizadas en intervalos de 10 cm. En el eje horizontal se representan las clases diamétricas, abarcando desde 10 cm hasta 110 cm a más, mientras que en el eje vertical se muestra la biomasa total (kg/ha) correspondiente a cada clase diamétrica.

La representación gráfica exhibe una forma que recuerda a una campana, donde se observa una concentración máxima de biomasa en las clases diamétricas intermedias, específicamente entre los 40 y 60 centímetros. Por otro lado, se evidencia una disminución gradual de la biomasa en las clases diamétricas más pequeñas y más grandes.

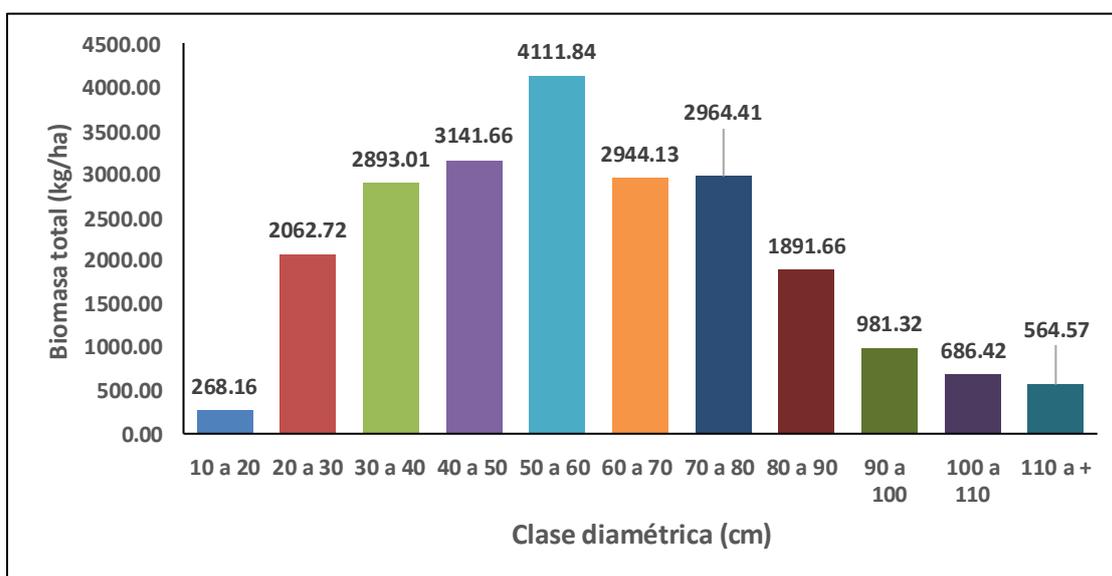


Gráfico 5. Distribución de la biomasa por clase diamétrica

La configuración de campana del gráfico sugiere una distribución equilibrada de árboles en diversas clases diamétricas en el bosque. La predominancia de biomasa en las clases diamétricas intermedias insinúa una fase de madurez en el ecosistema forestal. La disminución de biomasa en las clases diamétricas más

pequeñas sugiere una regeneración natural de árboles, mientras que la menor cantidad de biomasa en las clases diamétricas más grandes podría indicar la pérdida de árboles por muerte natural o actividades de tala.

El gráfico 6 ilustra la biomasa, medida en kilogramos por hectárea, de las diversas especies de árboles presentes en un bosque de colina baja. Al analizar el gráfico, se observa una marcada disparidad en la biomasa entre las diferentes especies. Las especies que exhiben mayor biomasa son *Eschweilera albiflora*, *Iryanthera elliptica* y *Parkia ulei*, las cuales en conjunto representan aproximadamente el 35,67% (8028,73 kg/ha) de la biomasa total del bosque. Por el contrario, *Cavanillesia umbellata*, *Guazuma ulmifolia* y *Aniba hostmanniana* apenas contribuyen con un 0,07%, siendo una fracción insignificante del total.

A pesar de que ciertas especies exhiban una biomasa considerablemente mayor que otras, esto no necesariamente indica que sean las más relevantes. La diversidad genética, la resistencia a plagas y la capacidad de adaptación al entorno también desempeñan un papel crucial en la vitalidad y la salud del bosque.

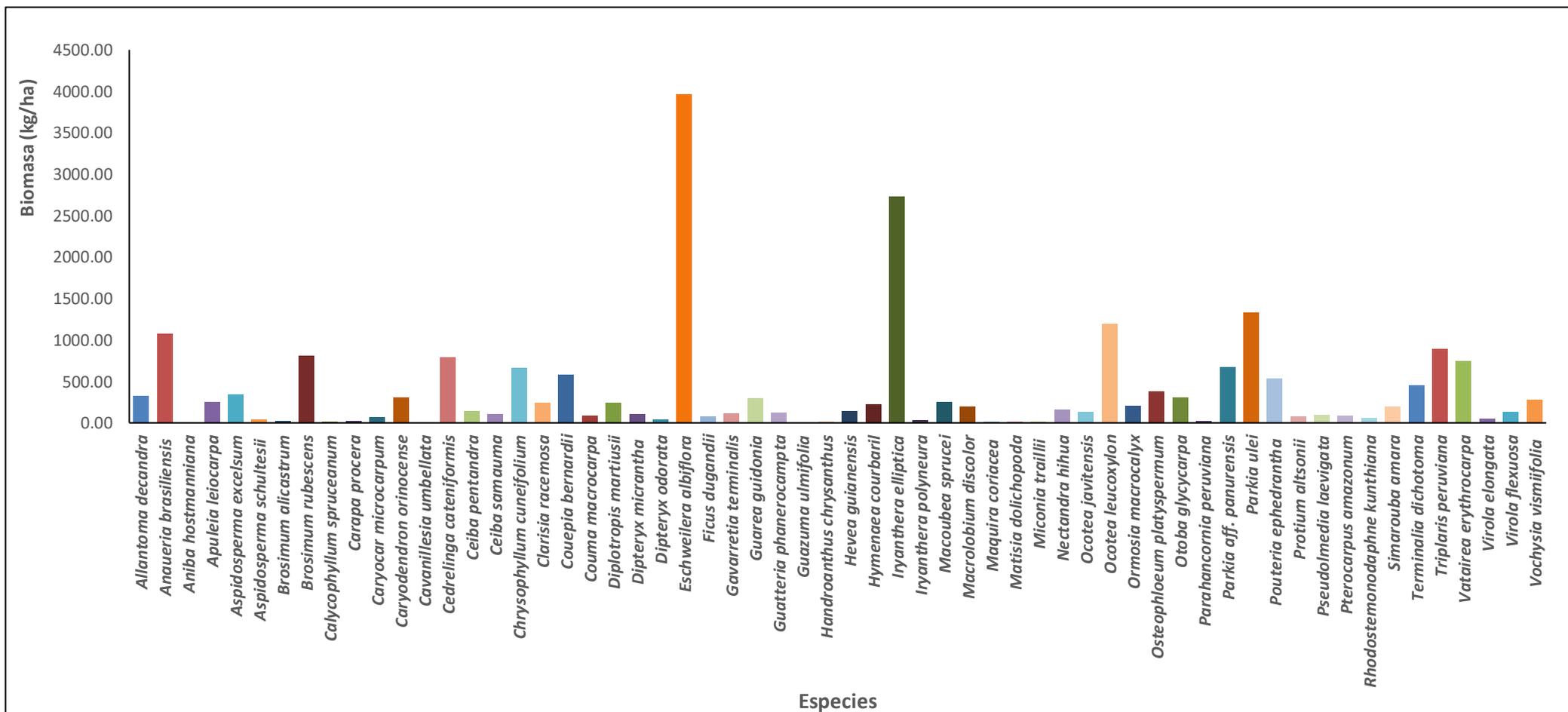


Gráfico 6. Distribución de la biomasa por especie

4.5. Correlación entre el DAP con altura total y biomasa

4.5.1. Prueba de normalidad

En la tabla 6 se muestra la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov para las variables DAP, altura total y biomasa. El estadístico de prueba para el DAP es 0,130, con 7460 grados de libertad (gl), y el *p-valor* (Sig.) es 0,000. Dado que el *p-valor* es menor que el nivel de significancia ($0,000 < 0.05$), se rechaza la hipótesis nula. Esto indica que los datos del DAP no siguen una distribución normal.

El valor del estadístico de prueba para la altura total es de 0,068, con 7460 grados de libertad (gl), y el *p-valor* (Sig.) es de 0,000. En consecuencia, dado que el *p-valor* es menor que el nivel de significancia ($0,000 < 0.05$), se rechaza la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que los datos de la altura total no siguen una distribución normal.

El estadístico de prueba para la biomasa es de 0,222, con 7460 grados de libertad (gl), y el *p-valor* (Sig.) es de 0,000. Según estos resultados, el *p-valor* es menor que el nivel de significancia ($0,000 < 0.05$), lo que lleva al rechazo de la hipótesis nula. Por lo tanto, se concluye que los datos de la biomasa no siguen una distribución normal.

La corrección de Lilliefors se emplea para ajustar el *p-valor* de la prueba de Kolmogorov-Smirnov cuando la muestra es pequeña. Sin embargo, en este caso, la muestra es considerablemente grande ($n = 7460$), por lo que la corrección de Lilliefors no es necesaria ni aplicable.

Dado que el tamaño de la muestra es grande ($n = 7460$), la prueba de Kolmogorov-Smirnov posee una alta capacidad para detectar desviaciones de la normalidad. Sin embargo, es importante destacar que la tabla de prueba de normalidad no

ofrece información detallada sobre la distribución de los datos. Para complementar el análisis, se pueden emplear herramientas gráficas como histogramas y diagramas de probabilidad normal para visualizar más claramente la distribución de los datos. Estas herramientas proporcionan una representación visual que facilita la comprensión de la naturaleza de la distribución de los datos.

Tabla 6. Prueba de normalidad del DAP, altura total y biomasa

Pruebas de normalidad			
Kolmogorov-Smirnov ^a			
	<u>Estadístico</u>	<u>gl</u>	<u>Sig.</u>
DAP	0,130	7460	0,000
Altura total	0,068	7460	0,000
<u>Biomasa</u>	<u>0,222</u>	<u>7460</u>	<u>0,000</u>

a. Corrección de significación de Lilliefors

El gráfico 7 muestra que la línea en el centro de un diagrama de caja (para DAP, altura total y biomasa) representa la mediana del conjunto de datos. La mediana se define como el valor que divide el conjunto de datos en dos partes iguales, de manera que la mitad de los valores son mayores que la mediana y la otra mitad son menores. Sin embargo, en ambos casos, se observa que la línea no divide la caja de bigotes en dos partes iguales, lo que sugiere que los datos no siguen una distribución normal.

Los datos que se encuentran fuera de la caja en un diagrama de caja se denominan valores atípicos. En resumen, estos valores atípicos son aquellos que están notablemente alejados del resto de los datos en un conjunto de datos. En otras palabras, son valores que se destacan considerablemente de la mayoría de las observaciones. Es posible que la presencia de un valor atípico sea atribuible a un error humano o a un fallo en el instrumento de medición. Sin embargo, en algunos casos, los valores atípicos pueden simplemente ser el resultado de la variabilidad

natural de la población. En ocasiones, la presencia de valores atípicos puede indicar la existencia de un fenómeno excepcional o inusual.

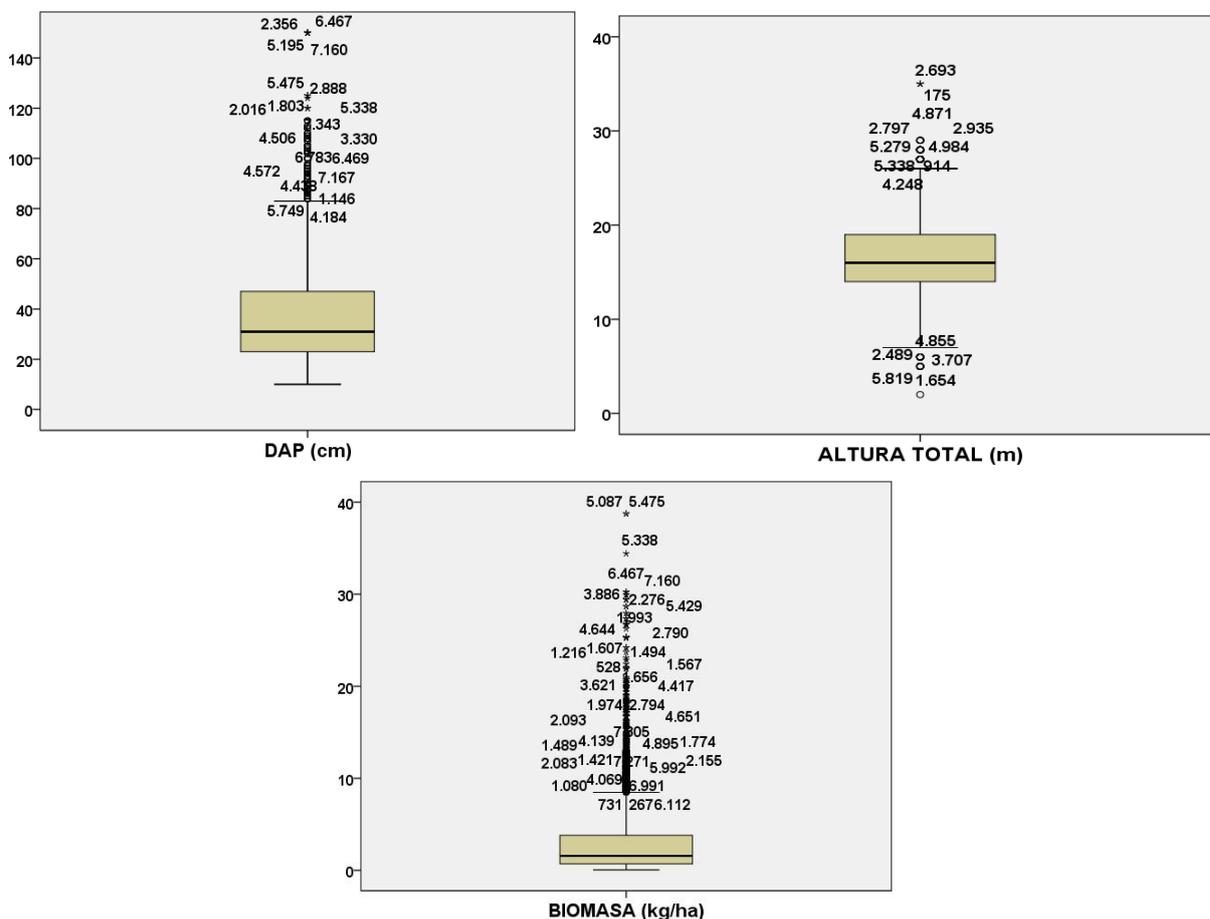


Gráfico 7. Diagrama de caja de bigotes del DAP, altura comercial y biomasa

La tabla 7 presenta medidas descriptivas para las variables DAP (Diámetro a la altura del pecho), altura total y biomasa.

Interpretación de la variable DAP

La media del diámetro a la altura del pecho (DAP) es de 36,09 cm, con un error estándar de 0,22 cm. El intervalo de confianza del 95% para la media sugiere que la verdadera media se encuentra entre 35,67 y 36,52 cm, con una probabilidad del 95%. La mediana es de 31 cm, lo que indica que la mitad de los árboles tienen un DAP mayor a 31 cm y la otra mitad tiene un DAP menor a 31 cm. La varianza del DAP es de 351,19 cm², lo que señala una gran dispersión en los valores del DAP.

El rango es de 140 cm, lo que indica una gran diferencia entre el árbol con el DAP más grande y el árbol con el DAP más pequeño. La asimetría del DAP es de 1,23, lo que sugiere que la distribución del DAP se inclina hacia la derecha.

Interpretación de la variable altura total

La media de la altura es de 16,37 metros, con un error estándar de 0,04 metros. El intervalo de confianza del 95% para la media sugiere que la verdadera media de la altura se encuentra entre 16,29 y 16,46 metros, con una probabilidad del 95%. La mediana de la altura es de 16 metros, lo que indica que la mitad de los árboles tienen una altura mayor a 16 metros y la otra mitad tiene una altura menor a 16 metros. La varianza de la altura es de 14,281 metros cuadrados, lo que indica una dispersión moderada en los valores de la altura. El rango de la altura es de 33 metros, lo que señala una diferencia considerable entre el árbol más alto y el árbol más bajo. La asimetría de la altura es de 0,125, lo que sugiere que la distribución de la altura es casi simétrica.

Interpretación de la variable biomasa

La media de la biomasa es de 3,02 kg/ha, con un error estándar de 0,04 kg/ha. El intervalo de confianza del 95% para la media sugiere que la verdadera media de la biomasa se encuentra entre 2,93 y 3,10 kg/ha, con una probabilidad del 95%. La mediana de la biomasa es de 1,57 kg/ha, lo que indica que la mitad de las unidades de análisis tienen una biomasa mayor a 1,57 kg/ha y la otra mitad tiene una biomasa menor a 1,57 kg/ha. La varianza de la biomasa es de 14,919 kg²/ha², lo que indica una dispersión moderada en los valores de la biomasa. El rango de la biomasa es de 38,69 kg/ha, lo que indica una diferencia notable entre la unidad de análisis con la biomasa más alta (38,74 kg/ha) y la unidad de análisis con la biomasa más baja (0,05 kg/ha).

Tabla 7. Estadísticos descriptivos del DAP, altura total y biomasa

Descriptivos			Estadístico	Error estándar
DAP	Media		36.0973	0.21697
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	35.6720	
		Límite superior	36.5226	
	Media recortada al 5%		34.7082	
	Mediana		31.0000	
	Varianza		351,198	
	Desviación estándar		18.74028	
	Mínimo		10.00	
	Máximo		150.00	
	Rango		140.00	
	Rango intercuartil		24.00	
	Asimetría		1,225	0,028
	Curtosis		1,844	0,057
	Altura total	Media		16.3734
95% de intervalo de confianza para la media		Límite inferior	16.2876	
		Límite superior	16.4591	
Media recortada al 5%			16.3508	
Mediana			16.0000	
Varianza			14,281	
Desviación estándar			3.77906	
Mínimo			2.00	
Máximo			35.00	
Rango			33.00	
Rango intercuartil			5.00	
Asimetría			0,125	0,028
Curtosis			0,356	0,057
Biomasa		Media		3.0173
	95% de intervalo de confianza para la media	Límite inferior	2.9296	
		Límite superior	3.1049	
	Media recortada al 5%		2.4739	
	Mediana		1.5700	
	Varianza		14,919	
	Desviación estándar		3.86257	
	Mínimo		0.05	
	Máximo		38.74	
	Rango		38.69	
	Rango intercuartil		3.11	
	Asimetría		2,887	0,028
	Curtosis		11,688	0,057

4.5.2. Correlación

La tabla 8 presenta la correlación entre el DAP (Diámetro a la altura del pecho) y la altura total de un conjunto de árboles. La correlación es una medida que indica la fuerza y la dirección de la relación entre dos variables. La correlación de Spearman, también conocida como coeficiente de correlación de rangos de Spearman, es una medida no paramétrica de la fuerza y la dirección de la relación monótona entre dos variables. Es importante destacar que la correlación de Spearman no hace suposiciones sobre la distribución de las variables, lo que la hace útil para analizar relaciones en datos que no siguen una distribución normal.

El coeficiente de correlación de Spearman (ρ) es de 0,714, lo que indica una fuerte correlación simple positiva entre el DAP y la altura total. Esto significa que a medida que aumenta el valor del DAP, también tiende a aumentar la altura total de los árboles. Esta relación puede explicarse por el hecho de que el DAP es una medida del crecimiento del árbol. Un árbol con un DAP mayor ha tenido más tiempo para crecer y, por lo tanto, es probable que sea más alto que un árbol con un DAP menor.

Tabla 8. Correlación entre el DAP y altura total

			Correlaciones	
			DAP	Altura total
Rho de Spearman	DAP	Coeficiente de correlación	1,000	0,714**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	7460	7460
	Altura total	Coeficiente de correlación	0,714**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	7460	7460

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

La tabla 9 muestra la correlación de Spearman entre el DAP (Diámetro a la altura del pecho) y la biomasa de los árboles. La correlación de Spearman es una medida

no paramétrica de la fuerza y la dirección de la relación simple entre dos variables. El coeficiente de correlación de Spearman (ρ) es de 0,980, lo que indica una fuerte correlación positiva entre el DAP y la biomasa. Esto significa que a medida que aumenta el DAP, también tiende a aumentar la biomasa. Además, el valor del *p-valor* es menor que 0,000, lo que indica que la correlación es estadísticamente significativa. El número de observaciones (n) es de 7460.

Esta información puede ser valiosa para predecir la biomasa de un árbol a partir de su DAP, o viceversa. La relación fuerte y positiva entre el DAP y la biomasa sugiere que el DAP puede ser un indicador confiable del tamaño y la salud del árbol. Dado que el DAP es una medida del crecimiento del árbol, un árbol con un DAP mayor probablemente tenga una biomasa más alta que un árbol con un DAP menor. Por lo tanto, la tabla puede utilizarse para estimar la biomasa de un árbol en función de su DAP, lo que puede ser útil en la gestión forestal, la planificación de la silvicultura y la evaluación de la salud del bosque. Además, esta información puede ser empleada para seleccionar árboles adecuados para diferentes propósitos, como la producción de madera, la conservación de la biodiversidad o la restauración de ecosistemas.

Tabla 9. Correlación entre el DAP y biomasa

Correlaciones				
			DAP	Biomasa
Rho de Spearman	DAP	Coeficiente de correlación	1,000	0,980**
		Sig. (bilateral)	.	0,000
		N	7460	7460
	Biomasa	Coeficiente de correlación	0,980**	1,000
		Sig. (bilateral)	0,000	.
		N	7460	7460

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (2 colas).

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Ecuación alométrica

La tabla 4 presenta información sobre varios modelos alométricos ajustados a los datos de altura total promedio de los árboles de un bosque de colina baja. Cada modelo se describe mediante una ecuación, un resumen de los modelos, los parámetros estimados y diversas métricas de ajuste de modelo, como el coeficiente de determinación (R^2), el coeficiente de determinación ajustado (R^2 ajustado), el error estándar de estimación (SEE) y el residuo. Estas métricas proporcionan una evaluación de la capacidad de cada modelo para explicar la variabilidad en la altura total de los árboles y pueden ser utilizadas para comparar y seleccionar el modelo más adecuado para las necesidades específicas de análisis o predicción.

El análisis de los modelos revela que el modelo lineal tiene un R^2 de 0,832 y un R^2 ajustado de 0,813, lo que sugiere que este modelo explica aproximadamente el 83,2% de la variabilidad en los datos de altura de los árboles. Por otro lado, el modelo logarítmico muestra un R^2 muy alto de 0,978, lo que indica un excelente ajuste a los datos. El modelo inverso presenta un R^2 de 0,897, lo que sugiere un ajuste sólido del modelo inverso. Tanto el modelo cuadrático como el cúbico exhiben altos valores de R^2 de 0,981 y 0,992 respectivamente, lo que sugiere un ajuste excelente a los datos en ambos casos.

En general, cuanto más cercanos estén los valores de R^2 y R^2 ajustado a 1, mejor será el ajuste del modelo a los datos. Además, un error estándar de estimación (SEE) más bajo indica una mejor precisión de predicción del modelo. Por lo tanto, se puede concluir que los modelos cuadrático y cúbico parecen ser los que mejor se ajustan a los datos, seguidos de cerca por el modelo logarítmico.

El ajuste del modelo cúbico ($AT = 8,751 + (0,368 \times DAP) + (-0,004 \times DAP^2) + (0,00001371 \times DAP^3)$) a los datos de altura total de los árboles de este bosque es apropiado por varias razones. Su importancia radica en su capacidad para capturar relaciones complejas y no lineales entre las variables predictoras y la variable de respuesta. El modelo cúbico permite modelar de manera más precisa las relaciones no lineales que pueden existir entre el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total de los árboles. Mientras que los modelos lineales o incluso cuadráticos pueden ser limitados en su capacidad para representar relaciones más complejas, el modelo cúbico ofrece una mayor flexibilidad al incluir términos de orden superior. Además, el ajuste del modelo cúbico proporciona una interpretación más detallada de cómo la altura total de los árboles varía en relación con el DAP. Esto puede ser especialmente útil en la planificación forestal, la gestión de recursos naturales y la ecología, donde comprender las relaciones complejas entre las variables es fundamental para la toma de decisiones informadas.

Los hallazgos de diferentes investigadores proporcionan una visión variada sobre los modelos alométricos y su capacidad para estimar la altura total de los árboles en un bosque específico. Correa (2023, p. 22) encontró que el modelo cúbico se ajustó para estimar la altura total de los árboles y explicó el 30,9% de la variación en la altura total, con un coeficiente de correlación (r) de 0,556 y un coeficiente de determinación (R^2) de 0,309. Cueva (2023, p. 31) señala que el modelo cúbico mostró el mayor coeficiente de correlación ($r = 0,967$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0,935$), lo que significa que el 93,5% de la variación en la altura total de los árboles está relacionada con el diámetro de los árboles. Paima (2023, p. 25) destaca que el modelo potencia exhibió el mayor coeficiente de correlación ($r = 0,942$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0,886$), explicando el 88,6% de la

variación en la altura total en el bosque en estudio. Por otro lado, Vacalla (2023, p. 23) indica que el modelo cuadrático presentó el mayor coeficiente de correlación ($r = 0,868$) y coeficiente de determinación ($R^2 = 0,754$), lo que sugiere que el 75,4% de la variación en la altura total de los árboles está relacionada con el diámetro. Finalmente, Rivas (2019, p. 27) afirma que el modelo alométrico potencia mostró el mejor coeficiente de correlación ($r = 0,900$) y determinación ($R^2 = 0,810$) para el bosque de estudio. Los resultados divergentes entre las investigaciones reportadas pueden atribuirse a varios factores. La discrepancia en el ajuste de un modelo en comparación con otros puede deberse a la complejidad del fenómeno estudiado, la calidad y cantidad de los datos disponibles, la selección de variables predictoras y la idoneidad del modelo seleccionado para capturar la relación entre las variables.

Además, la variabilidad en los datos entre diferentes lugares puede influir en el ajuste del modelo. Los patrones y relaciones subyacentes pueden diferir debido a factores ambientales, geográficos y biológicos específicos de cada ubicación. La heterogeneidad en las características del paisaje, el clima, la composición de la vegetación y otros factores locales puede afectar la forma en que los modelos se ajustan a los datos en diferentes lugares.

Por lo tanto, es crucial considerar cuidadosamente estos factores al interpretar y comparar los resultados de diferentes estudios. Una comprensión más profunda de la complejidad del fenómeno estudiado y una evaluación crítica de los datos y los modelos utilizados pueden ayudar a explicar las discrepancias observadas y mejorar la capacidad de hacer predicciones precisas en contextos específicos.

El modelo cúbico desempeña un papel crucial en el análisis de datos donde las relaciones entre variables no son lineales. Aunque los modelos lineales son útiles

para describir relaciones simples entre variables, muchas veces las relaciones en los datos son más complejas y no lineales. El modelo cúbico se destaca por su capacidad para capturar estas relaciones no lineales al incluir términos polinomiales de grado tres. Esta capacidad es especialmente relevante en el contexto de la altura de los árboles. A medida que un árbol crece, su tasa de crecimiento puede variar y no ser constante, lo que puede conducir a una relación no lineal entre factores como la edad o el diámetro del árbol y su altura. En tales casos, el modelo cúbico puede proporcionar una representación más precisa de la relación subyacente entre estas variables. Por lo tanto, el modelo cúbico es una herramienta invaluable para analizar datos en los que se sospecha que las relaciones son no lineales. Su capacidad para capturar estas complejas relaciones puede mejorar significativamente nuestra comprensión del fenómeno estudiado y ayudar en la toma de decisiones informadas en una variedad de campos, desde la silvicultura hasta la ecología y más allá.

El modelo cúbico ofrece una mayor flexibilidad en comparación con los modelos lineales simples. Esta flexibilidad radica en su capacidad para adaptarse mejor a la forma de los datos al poder modelar curvas más complejas y variaciones en la tasa de cambio de la variable de respuesta en relación con las variables predictoras. Los modelos lineales simples pueden tener dificultades para capturar relaciones no lineales o curvas complejas en los datos. En contraste, el modelo cúbico puede ajustarse de manera más precisa a patrones de datos que no siguen una tendencia lineal. Esto significa que puede capturar de manera más efectiva las variaciones en la relación entre las variables predictoras y la variable de respuesta a medida que cambian las condiciones del estudio.

5.2. Biomasa

La tabla 2 desglosa la biomasa de los árboles según la clase diamétrica y la especie en kilogramos (kg). Cada especie presenta datos de biomasa para diversas clases diamétricas, desde 10 cm de diámetro, con incrementos de 10 cm, hasta 110 cm a más. *Iryanthera elliptica* muestra la mayor biomasa total, con 4,43 kg/ha, lo que la convierte en la especie dominante en términos de contribución a la biomasa total del área de estudio. Por otro lado, *Iryanthera polyneura*, *Guazuma ulmifolia* y *Cavanillesia umbellata* exhiben menor biomasa, con 0,012 kg/ha, 0,05 kg/ha y 0,002 kg/ha, respectivamente. Estos valores reflejan la importancia relativa de cada especie en la contribución a la biomasa total del área de estudio. En resumen, mientras que *Iryanthera elliptica* destaca como la especie dominante en términos de biomasa, *Iryanthera polyneura*, *Guazuma ulmifolia* y *Cavanillesia umbellata* muestran una contribución mínima en comparación con otras especies.

De acuerdo con el informe de Pacaya (2023, p. 23), la biomasa total es de 13,287,863.51 kg (41,011.92 kg/ha). Las 20 especies con mayor biomasa contribuyen con 31,648,12 kg/ha, mientras que las 31 especies restantes presentan una biomasa total de 9,363.80 kg/ha. Además, *Parkia ulei* destaca con la biomasa más alta, alcanzando los 4,785.02 kg/ha. Según Meza (2022, pp. 20, 21), *Virola calophylla* muestra la mayor biomasa individual, con 2,914,59 kg/ha. Los datos globales revelan una biomasa total de 25,567.54 kg/ha. Las clases diamétricas con mayor biomasa se encuentran en el rango de 60 a 69 cm (6,084.80 kg/ha), de 70 a 79 cm (5,435,50 kg/ha) y de 90 cm en adelante (6,800.89 kg/ha). De acuerdo con Bustios (2022, p. 25), la biomasa total del bosque es de 99,266,675.87 kg (50,285,54 kg/ha). Las 30 especies con mayor biomasa contribuyen con un total de 92,466.88 kg/ha. *Acacia lorentensis* destaca con 4,322.10 kg/ha de biomasa. La

mayor concentración de biomasa (10,506.38 kg/ha) se encuentra en la clase diamétrica entre 60 y 69 cm.

La discrepancia en los resultados observados puede atribuirse a una variedad de factores, como el clima, la disponibilidad de agua y nutrientes en el suelo, la composición y estructura de la vegetación, la historia de perturbaciones del área, la altitud, la topografía y la interacción de estas variables. Las condiciones climáticas, incluidas la temperatura y la precipitación, ejercen una influencia significativa en el crecimiento vegetal y la producción de biomasa. Variaciones en el clima entre diferentes estudios pueden conducir a diferencias en la productividad de la vegetación y, por lo tanto, en la biomasa acumulada. La calidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes también desempeñan un papel crucial en la salud y el desarrollo de la vegetación. Diferencias en la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes entre las áreas estudiadas pueden influir en la cantidad de biomasa producida por las especies vegetales. Además, los eventos de perturbación, como la tala selectiva, pueden alterar significativamente la cantidad de biomasa presente en un área. La intensidad y la frecuencia de estas perturbaciones pueden variar entre diferentes estudios y, como resultado, afectar los niveles de biomasa registrados.

Este tipo de tabla es esencial para comprender la distribución de la biomasa entre diferentes especies de árboles en un área específica. Facilita la identificación de las especies dominantes en términos de biomasa y cómo varía la contribución de cada especie en diferentes clases diamétricas, lo que puede proporcionar información crucial para la gestión forestal y la conservación de la biodiversidad.

Además, la biomasa total por especie y en general para toda el área de estudio es fundamental para evaluar el carbono almacenado en el bosque y su contribución a

la mitigación del cambio climático. Estos datos son vitales para comprender el papel de los bosques en el ciclo global del carbono y para desarrollar estrategias efectivas de manejo forestal sostenible y políticas de conservación.

Conocer la biomasa por clase diamétrica y por especie es fundamental porque permite comprender la distribución y cantidad de biomasa en diferentes estratos de la vegetación, lo cual es esencial para desarrollar estrategias de manejo forestal sostenible y conservar la biodiversidad. La biomasa de los árboles es una medida directa del carbono almacenado en un bosque. Entender cómo esta biomasa varía entre especies y clases diamétricas es crucial para calcular y monitorear el secuestro de carbono, lo cual es importante para la mitigación del cambio climático. Esta información proporciona una base sólida para la toma de decisiones informadas en la gestión de los recursos forestales y la planificación de medidas de conservación.

El conocimiento de que algunas especies pueden tener una mayor biomasa en determinadas clases diamétricas es indicativo de su importancia para la estructura y la función del ecosistema. Este entendimiento es valioso para identificar hábitats críticos y priorizar áreas de conservación. La distribución de la biomasa por especie y clase diamétrica puede proporcionar información sobre la dinámica del crecimiento y la sucesión en el bosque. Esto es esencial para comprender cómo cambian los ecosistemas con el tiempo y cómo responderán a perturbaciones naturales o antropogénicas. Además, algunas especies pueden tener una biomasa más alta y, por lo tanto, un mayor valor económico en términos de productos forestales maderables o no maderables. El conocimiento de esta distribución puede ser beneficioso en la planificación de la explotación forestal y en la evaluación de la rentabilidad económica de las actividades relacionadas con los recursos

forestales. En resumen, entender la distribución de la biomasa en relación con las especies y las clases diamétricas es esencial para una gestión forestal efectiva y sostenible, así como para la conservación de los ecosistemas forestales y su biodiversidad.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

1. El área de estudio cuenta con una composición florística diversa, con un total de 7460 árboles distribuidos en 60 especies y 20 familias botánicas distintas. Destaca la especie *Iryanthera elliptica* (Cumala), que es la más abundante con un total de 1799 árboles. Se observa que Fabaceae, con 12 especies, y Myristicaceae, con siete especies, son las que reportan un mayor número de especies en el área de estudio.
2. La distribución del número de árboles por hectárea es de 18,39 árboles. La especie presenta el mayor número de árboles por hectárea (4,44 árbol/ha), seguida por *Eschweilera albiflora* con 4,18 árboles por hectárea.
3. La altura total promedio de los árboles presenta una variación que va desde 12,11 metros hasta 22,05 metros. Se destaca un significativo incremento en la altura entre las clases diamétricas de 10 cm a 40 cm. En este rango, la altura total promedio experimenta un aumento de más de seis metros.
4. El modelo alométrico cúbico ($AT = 8,751 + (0,368 \times DAP) + (-0,004 \times DAP^2) + (0,00001371 \times DAP^3)$) muestra el mejor ajuste para estimar la altura total de los árboles en función del DAP con un R² de 0,992, R² ajustado de 0,989 y SEE de 0,328.
5. La biomasa total alcanza los 22509,88 kg/ha. Entre las especies identificadas, *Eschweilera albiflora* y *Iryanthera elliptica* sobresalen por su contribución significativa a la biomasa, con valores de 3967,11 kg/ha y 2728,90 kg/ha, respectivamente.

6. La correlación para el DAP con altura total y DAP con la biomasa reportan valores de 0,714 y 0,980. Estos valores indican una fuerte correlación positiva, es decir a medida que aumenta el DAP, también aumenta la altura.

7. La hipótesis de investigación de que el modelo alométrico lineal sería adecuado para estimar la altura total de los árboles en el bosque de colina baja ha sido rechazada. Esto indica que el modelo alométrico lineal no logra ajustarse de manera adecuada para predecir la altura total de los árboles en este tipo de bosque.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

1. Utilizar el modelo alométrico cúbico ($AT = 8,751 + (0,368 \times DAP) + (-0,004 \times DAP^2) + (0,00001371 \times DAP^3)$) para estimar la altura total de los árboles, por presentar mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,0992$), mayor R^2 ajustado (0,989), menor error estándar estimado (0,328) y menor distribución de residuos (0,754).
2. Se recomienda utilizar el modelo alométrico cúbico para estimar la altura total de los árboles debido a su buen ajuste y precisión. Es importante actualizar el modelo conforme se obtienen nuevos datos para mantener su relevancia y precisión. Esto implica recalibrar el modelo utilizando los datos más recientes y ajustar los parámetros según sea necesario

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- Alvarez, G. (2008). *Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia*. [Tesis de Magister, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE)]. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/5658>
- Barrena, V., & Llerena, C. (1988). Influencia de los errores de estimación de la altura en el cálculo del volumen. *Revista Forestal del Perú*, 15(1):1-11. <https://doi.org/10.21704/rfp.v15i1.131>
- Bustios, B. (2022). Biomasa y stock de carbono almacenado en las especies comerciales del bosque de colina baja de la PC 03 de la concesión forestal N° 16-lor-MAY/CON-MAD-2017-024, distrito de Mazán, Loreto. 2021. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/8650>
- Cancino, J. O. (2012). *Dendrometría básica*. Chile. ISBN: 9568029672. <http://repositorio.udec.cl/jspui/handle/11594/407>
- Castedo, F., Diéguez, U., Barrio, M., & Álvarez, J. G. (2005). Relación altura-diámetro generalizada para masas de *Pinus sylvestris* L. procedentes de repoblación en el noroeste de España. *Investigación agraria. Sistemas y recursos forestales*, 14(2): 229-241
ISSN 1131-7965
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=1223642>
- Correa, J. M. (2023). *Modelo alométrico para estimar la altura total de las especies forestales del bosque de terraza alta de la comunidad campesina Tres Hermanos del Bajo Tapiche, distrito de Requena, Loreto, 2022*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9637>

- Cueva, L. E. (2023). *Modelo alométrico para estimar la altura total de las especies forestales del bosque de colina baja de la concesión forestal 16-LOR-MAY/CON-MAD-2019-018, distrito del Napo, Loreto, 2022*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9408>
- Chave, J., Réjou-Méchain, M., Búrquez, A., Chidumayo, E., Colgan, M.S., Delitti, W.B.C., Duque, A., Eid, T., Fearnside, P.M., Goodman, R.C., Henry, M., Martínez-Yrizar, A., Mugasha, W.A., Muller-Landau, H.C., Mencuccini, M., Nelson, B.W., Ngomanda, A., Nogueira, E.M., Ortiz-Malavassi, E., Péliissier, R., Ploton, P., Ryan, C.M., Saldarriaga, J.G. and Vieilledent, G. (2014). *Improved allometric models to estimate the aboveground biomass of tropical trees*. *Global Change Biology* 20: 3177-3190, doi: 10.1111/gcb.12629. [https://www.scrip.org/\(S\(351jmbntvnsjt1aadkozje\)\)/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2244435](https://www.scrip.org/(S(351jmbntvnsjt1aadkozje))/reference/referencespapers.aspx?referenceid=2244435)
- Espíritu, J. M. (2021). *Valoración económica del servicio de secuestro de CO₂ en dos tipos de bosque de los ríos Cochiquinas y Yavari, Ramón Castilla, Loreto, Perú, 2021*. [Tesis de doctor, Universidad Nacional de la Amazonia Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/7895>
- Espíritu, J. J. (2016). *Comparación de tres ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea para su valoración económica del secuestro de CO₂ en la parcela 8 del arboretum "El Huayo" del CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos, 2015*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>
- Gómez, J. D.; Etchevers, J. D.; Monterrosos, A. I.; Campo, J.; Juan A. Tinoco, J. A. (2011). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa y carbono en *Quercus magnoliaefolia*. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 17(2). <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v17n2/v17n2a9.pdf>: 261-272.

Hernández, J.; Tamarit, J. C.; García, X.; Hernández, A.; Reynoso, R.; y Reyes, V. (2019). Modelos alométricos altura-diámetro para *Bucida buceras* (pukté) en Quintana Roo, México. *Bosque* 40(3): 267-276.

DOI: 10.4067/S0717-92002019000300267

Hernández, J.; Hernández, A.; García, X.; García, J. J.; Martínez, M.; Samperio, M.; Hernández, J. A. (2019). Ecuaciones alométricas de altura-diámetro para bosques naturales de *Pinus teocote* Schlecht. & Cham. en Hidalgo, México. *Acta Universitaria* Vol. 29: 1-13 p. <http://doi.org/10.15174/au.2019.1908>

http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-62662019000100127

Lago, M. A. (2019). *Ecuaciones alométricas de especies dominantes usando sistema integrado Field Map en la parcela permanente de monitoreo N° 4 del bosque reservado Unas Tingo María*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://hdl.handle.net/20.500.14292/1568>

Lerma, M. A.; Orjuela, E. L. (2014). Modelos alométricos para la estimación de la biomasa aérea total en el Páramo de Anaime, departamento del Tolima, Colombia. [Tesis de Ingeniero, Universidad de Tolima].

<https://repository.ut.edu.co/bitstreams/63a6d5da-e219-41d5-af1c-7e3d4fb95759/download>

Luza, I. A. (2014). *Stock de carbono almacenado en la biomasa aérea, sotobosque y suelo en bosques andinos, Huancayo, Perú, 2013*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Continental].

<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7530>

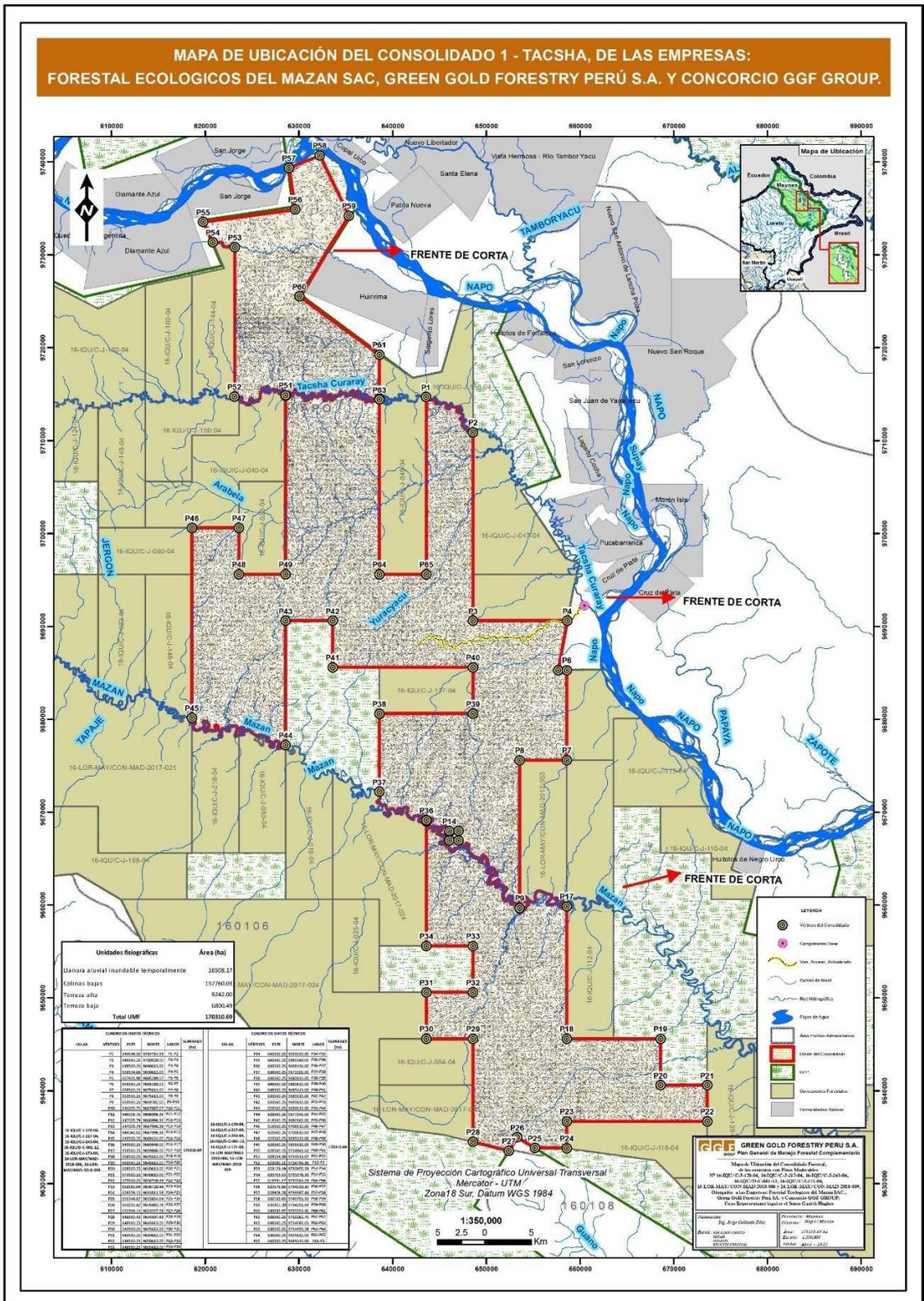
Marroquin, P.; Jiménez, J.; Yerena, J. I.; y Reyes, J. (2023). Modelos alométricos para estimar biomasa aérea en una plantación de *Tectona grandis* L. F. en Yucatán. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios* 10(2): 1-12 e3566, 2023.

<https://doi.org/10.19136/era.a10n2.3566>

- Masías, V. M. (2017). *Consideraciones para la medición de diámetros y alturas de árboles vivos de *Polylepis flavipila* (bitter) M. kessler & Schmidt-Leb.* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional Agraria La Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3458>
- Meza, Z. Z. (2022). *Biomasa y carbono almacenado en las especies comerciales del bosque de colina baja de la concesión forestal N° 16-LOR-MAY/CON-MAD-2017-024, distrito de Mazán, Loreto. 2021.* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9598>
- Moreno, J. M. (2015). *Estructura horizontal y valoración económica de las especies de madera comercial en cuatro tipos de bosque, distrito de Torres Causana, Loreto, Perú-2015.* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4474>
- Pacaya, A. G. (2023). *Biomasa y carbono almacenado en las especies comerciales del bosque de colina baja de la concesión forestal N° 16-LOR-MAY/CON-MAD-2018-004, distrito de Mazán, Loreto. 2022.* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9723>
- Paima, A. R. (2023). *Modelo alométrico para estimar la altura total de las especies forestales del bosque de colina baja de la concesión forestal 16-LOR-MAY/CON-MAD-2017-055, distrito de Mazán, Loreto, 2022.* [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9476>
- Fondo para áreas Naturales Protegidas por el Estado [PROFONANPE]. 2007. *Inventarios Forestales. Componente temático para la mesozonificación ecológica y económica de las cuencas de los ríos Pastaza y Morona.*

- Rae y Asale. (2010). *La ortografía de la lengua española*. Espasa. 864 p. ISBN: 9788467034264
<https://www.rae.es/obras-academicas/ortografia/ortografia-2010>
- Rivas, C. A. (2019). *Modelo alométrico para estimar la altura de las especies forestales de la parcela N° 6 del Arboretum “El Huayo” – CIEFOR – Puerto Almendra, Loreto – 2018*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6281>
- Segura, M. y Andrade, H, J. (2008). Como construir modelos alométricos de volumen, biomasa o carbono de especies leñosas perennes. *Agroforestería en las Américas* N° 46. p. 89-96. https://www.worldcocoafoundation.org/wp-content/uploads/files_mf/segura2008a.pdf
- Toscano, L. A. (2009). *Análisis de los parámetros y selección de hornos para la combustión de biomasa*. [Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica Del Litoral].
<https://www.dspace.espol.edu.ec/handle/123456789/31830?mode=full>
- Vacalla, J. (2023). *Relación de altura total y comercial con el diámetro de los árboles en un bosque de terraza baja de la comunidad nativa Nuevo Libertad, distrito del Napo, Loreto, 2022*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <https://hdl.handle.net/20.500.12737/9735>
- Vela, C. C. (2019). *Relación de altura total y comercial con el diámetro de los árboles en dos tipos de bosque en el distrito de Contamana, Loreto Perú – 2017*. [Tesis de Ingeniero, Univesidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<https://hdl.handle.net/20.500.12737/7906>
- Zarate, J. A. (2021). *Determinación de un modelo de árbol de la especie algarrobo (prosopis pallida) y proyección de volumen aprovechado de lamanera ilegal en la concesión de la Universidad Nacional de Tumbes*. [Tesis de Ingeniero, Universidad Nacional de Tumbes].
<http://repositorio.untumbes.edu.pe/handle/20.500.12874/2637>

ANEXOS



Anexo 1. Mapa de ubicación del consolidado 1 Tacsha de las concesiones en los distritos de Mazán y Napo

Anexo 2. Constancia de identificación botánica de las especies



UNAP

Centro de Investigación de
Recursos Naturales
Herbarium Amazonense — AMAZ

INSTITUCIÓN CIENTÍFICA NACIONAL DEPOSITARIA DE MATERIAL BIOLÓGICO
CÓDIGO DE AUTORIZACIÓN AUT-ICND-2017-005

CONSTANCIA DE DETERMINACIÓN BOTÁNICA n.º 043-2024 AMAZ-UNAP

El Coordinador del Herbarium Amazonense (AMAZ) del Centro de Investigación de Recursos Naturales (CIRNA), de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana.

HACE CONSTAR:



Que, las muestras botánicas presentadas por **HILLARY SCAY VALDIVIA QUINTERO**, bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana pertenece al proyecto de tesis de pre grado titulado “**DETERMINACIÓN DE BIOMASA MEDIANTE UNA ECUACIÓN ALOMÉTRICA PARA ALTURA TOTAL EN BOSQUE DE COLINA BAJA, DISTRITOS DE MAZÁN Y NAPO, LORETO, PERÚ. 2024**”; han sido **DETERMINADAS** en este centro de investigación y enseñanza **Herbarium Amazonense-AMAZ-CIRNA-UNAP**, como se indica a continuación:

N°	FAMILIA	ESPECIE	AUTOR	NOMBRE COMÚN
1	MYRISTICACEAE	<i>Otoba glycyarpa</i>	(Ducke) W.A. Rodrigues & T.S. Jaram.	"aguanillo"
2	CARYOCARACEAE	<i>Caryocar microcarpum</i>	Ducke	"almendro"
3	FABACEAE	<i>Apuleia leiocarpa</i>	(Vogel) J.F. Macbr.	"ana caspi"
4	MELIACEAE	<i>Carapa procera</i>	DC.	"andiroba"
5	LAURACEAE	<i>Aniba hostmanniana</i>	(Nees) Mez	"anis moena"
6	LAURACEAE	<i>Anaueria brasiliensis</i>	Kosterm.	"añuje rumo"
7	FABACEAE	<i>Hymenaea courbaril</i>	L.	"azucar huayo"
8	MALVACEAE	<i>Guazuma ulmifolia</i>	Lam.	"bolaina"
9	LECYTHIDACEAE	<i>Allantoma decandra</i>	(Ducke) S.A. Mori, Ya Y.Huang & Prance	"cachimbo"
10	SAPOTACEAE	<i>Chrysophyllum cuneifolium</i>	(Rudge) A. DC.	"caimitillo"
11	LAURACEAE	<i>Ocotea javitensis</i>	(Kunth) Pittier	"canela moena"
12	MORACEAE	<i>Maquila coriacea</i>	(H. Karst.) C. C. Berg	"capinuri"
13	RUBIACEAE	<i>Calycophyllum spruceanum</i>	(Benth.) Hook. f. ex K. Schum.	"capirona"
14	ANNONACEAE	<i>Guatteria phanerocampa</i>	Diels	"carahuasca"
15	FABACEAE	<i>Dipteryx micrantha</i>	Harms	"charapilla"
16	MORACEAE	<i>Pseudolmedia laevigata</i>	Trécul	"chimicua"
17	FABACEAE	<i>Diplatropis martiusii</i>	Benth.	"chontaquiro"
18	BURSERACEAE	<i>Protium altsonii</i>	Sandwith	"copal"
19	MYRISTICACEAE	<i>Iryanthera elliptica</i>	Ducke	"cumala"
20	MYRISTICACEAE	<i>Virola elongata</i>	(Benth.) Warb.	"cumala blanca"
21	MYRISTICACEAE	<i>Virola flexuosa</i>	A. C. Sm.	"cumala caupuri"
22	MYRISTICACEAE	<i>Iryanthera polymeura</i>	Ducke	"cumala colorada"



UNAP

Centro de Investigación de Recursos Naturales Herbarium Amazonense — AMAZ

INSTITUCIÓN CIENTÍFICA NACIONAL DEPOSITARIA DE MATERIAL BIOLÓGICO CÓDIGO DE AUTORIZACIÓN AUT-ICND-2017-005

Table with 5 columns: Number, Family Name, Species Name, Author, and Common Name. Rows 23-60 list various plant species and their associated data.

Determinador: Ing. Dario Davila Paredes

A los ocho días del mes de abril del año dos mil veinticuatro, se expide la presente constancia a los interesados para los fines que se estime conveniente.

Atentamente,

Signature and stamp of Richard J. Huaranca Acostupa, Coordinator of Herbarium Amazonense, CIRNA - UNAP.

