



UNAP



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE BOSQUES

TROPICALES

TESIS

**“COMPARACIÓN DE TRES ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR
LA BIOMASA ARBÓREA PARA SU VALORACIÓN ECONÓMICAS DEL
SECUESTRO DE CO₂, EN UN BOSQUE DE COLINA BAJA DEL DISTRITO DE
TORRES CAUSANA, LORETO, 2022”**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO EN ECOLOGÍA DE BOSQUES TROPICALES**

PRESENTADO POR:

JOSÉ LUIS LÓPEZ MORI

ASESOR:

Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.

IQUITOS, PERÚ

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS Nº 015-CCGyT-FCF-UNAP-2024

En Iquitos, en la sala de conferencias de la Facultad de Ciencias Forestales, a los 14 días del mes de febrero del 2024, a horas 12:00 m., se dio inicio a la sustentación pública de la tesis: "COMPARACIÓN DE TRES ECUACIONES ALOMETRICAS PARA ESTIMAR LA BIOMASA ARBÓREA PARA SU VALORACIÓN ECONÓMICAS DEL SECUESTRO DE CO₂, EN UN BOSQUE DE COLINA BAJA DEL DISTRITO DE TORRES CAUSANA, LORETO, 2022", aprobado con R.D. Nº 0492-2022-FCF-UNAP, presentado por el JOSE LUIS LOPEZ MORI, para optar el Título Profesional de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales, que otorga la Universidad de acuerdo a Ley y Estatuto.

El jurado calificador y dictaminador designado mediante R.D. Nº 0215-2023-FCF-UNAP, y modificado con RD. Nº 0375-2023-FCF-UNAP, está integrado por:

Ing. Jorge Elías Alvan Ruiz, Dr.	: Presidente
Ing. Jorge Solignac Ruiz, M.Sc.	: Miembro
Ing. Lizardo Manuel Fachin Malaverri, M.Sc.	: Miembro

Luego de haber escuchado con atención y formulado las preguntas necesarias, las cuales fueron respondidas: Satisfactoriamente

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

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

Estando el bachiller apto para obtener el Título Profesional de Ingeniero en Ecología de Bosques Tropicales.

Siendo las 13:15pm se dio por terminado el acto Académico


Ing. JORGE ELÍAS ALVAN RUIZ, Dr.
Presidente


Ing. JORGE SOLIGNAC RUIZ, M.Sc.
Miembro


Ing. LIZARDO MANUEL FACHIN MALAVERRI, M.Sc.
Miembro


Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Asesor

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN ECOLOGÍA DE BOSQUES
TROPICALES**

TESIS

"Comparación de tres ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea para su valoración económicas del secuestro de CO₂ , en un bosque de colina baja del distrito de Torres Causana, Loreto, 2022"

MIEMBROS DEL JURADO

Ing. JORGE ELIAS ALVAN RUIZ, Dr.
Presidente

REGISTRO CIP N° 28387

Ing. JORGE SÓLIGNAC RUIZ, M.Sc.
Miembro

REGISTRO CIP N° 113740

Ing. LIZARDO MANUEL FACHIN MALAVERRI, M.Sc.
Miembro

REGISTRO CIP N° 66065

Ing. RONALD BURGA ALVARADO, Dr.
Asesor

REGISTRO CIP N° 45725

NOMBRE DEL TRABAJO

FCF_TESIS_LOPEZ MORI.pdf

AUTOR

JOSE LUIS LOPEZ MORI

RECuento DE PALABRAS

8765 Words

RECuento DE CARACTERES

42910 Characters

RECuento DE PÁGINAS

38 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

893.4KB

FECHA DE ENTREGA

Nov 2, 2024 10:27 PM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Nov 2, 2024 10:27 PM GMT-5

● **33% de similitud general**

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

- 32% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 15% Base de datos de trabajos entregados
- 1% 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

A mis padres por haber forjado como la persona que soy en la actualidad, muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y libertades, equilibradamente, siempre motivandome para alcanzar mis anhelos.

Gracias padre y madre

AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a la institución por ser la espina dorsal de mi formación profesional, a los distintos profesionales e ingenieros que esta la conforman y a todas las amistades, personas que hicieron este camino mucho más llevadero, a todos muchas gracias.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
PORTADA	i
ACTA DE SUSTENTACIÓN	ii
JURADO Y ASESOR	iii
RESULTADO DEL INFORME DE SIMILITUD	iv
DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE GENERAL	vii
ÍNDICE DE CUADROS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO	3
1.1. Antecedentes	3
1.2. Bases teóricas	5
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	11
3.4. Procesamiento y análisis de los datos	12

3.4.1. Cálculos	12
✓ Cálculo de la biomasa	12
✓ Ecuación alométrica sugerida por Brown et al., (1989)	12
✓ Ecuación alométrica sugerida por Higuchi y Carvalho (1994)	12
✓ Ecuación alométrica sugerida por Chavé, et al., (2014)	13
✓ Cálculo de la biomasa radicular	13
✓ Cálculo de la biomasa total	13
✓ Cálculo de la biomasa seca	13
✓ Cálculo del carbono almacenado	14
✓ Cálculo del secuestro de CO ₂	14
✓ Estimación del valor económico del secuestro de CO ₂	14
3.4.2. Criterios utilizados para la selección del mejor modelo alométrico	15
3.4.3. Análisis estadístico	15
3.5. Aspectos éticos	16
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	17
4.1. Composición florística	17
4.2. Ecuaciones alométricas evaluadas	19
4.3. Biomasa	20
4.4. Carbono almacenado	23
4.5. Secuestro de CO ₂	24
4.6. Valoración económica del secuestro de CO ₂	26
4.7. Análisis estadístico	28
4.7.1. Prueba de normalidad	28

4.7.2. Prueba de hipótesis	29
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN	31
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES	35
CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES	36
CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN	37
ANEXOS	46
Anexo 1. Mapa de ubicación del área de estudio ubicado en el distrito de Torres Causana	47
Anexo 2. Formato para la toma de datos del censo forestal	48
Anexo 3. Formato de datos para la estimación de la biomasa y carbono almacenado	49
Anexo 4. Biomasa por familia en kilogramos por hectárea según Brow, <i>et al.</i> , 1989	50
Anexo 5. Biomasa por familia en kilogramos por hectárea según Chave, <i>et al.</i> , 2014	51
Anexo 6. Identificación botánica de las especies forestales	52
Anexo 7. Constancia de uso de base de datos	54

ÍNDICE DE CUADROS

N°	Descripción	Pág.
1.	Relación de especies, géneros, familias y número de árboles	18
2.	Ecuaciones alométricas evaluadas con sus valores de R ² y SEE (%)	20
3.	Biomasa por familia en kilogramos por hectárea	21
4.	Carbono almacenado por familia en toneladas por hectárea	23
5.	Secuestro de CO ₂ por familia en toneladas por hectárea	25
6.	Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO ₂ por familia y por hectárea	26
7.	Prueba de normalidad del valor económico del secuestro de CO ₂	28
8.	Prueba de hipótesis no paramétrica de Kruskal-Wallis del valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO ₂	30
9.	Prueba de Chi-cuadrado	30

ÍNDICE DE FIGURAS

N°	Descripción	Pág.
1.	Distribución del número de árboles por familia	19
2.	Distribución del número de árboles por especie	19
3.	Biomasa por familia en kilogramos por hectárea	22
4.	Carbono almacenado por familia en toneladas por hectárea	24
5.	Secuestro de CO ₂ por familia en toneladas por hectárea	25
6.	Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO ₂ por familia y por hectárea	27
7.	Diagrama de caja para el valor económico del secuestro de CO ₂	29

RESUMEN

En un bosque de colina baja del distrito de Torres Causana, Loreto, Perú, se realizó la comparación de tres modelos alométricos para estimar la biomasa arbórea para la evaluación económica del secuestro de CO₂. Se utilizó la información de la concesión forestal 16-LOR-MAR/CON-MAD-2016-035 del plan operativo N° 01 (PC N° 19) de concesiones forestales con fines maderables. Los resultados muestran que se han registrado 2760 árboles de 34 especies forestales, 30 géneros y 14 familias botánicas. La ecuación alométrica de Higuchi y Carvalho (1994), con $R^2 = 0,88$ y SEE 16,38%, fue la más adecuada para estimar la biomasa individual por árbol. La biomasa total fue de 249 360,53 kg/ha, con las mayores contribuciones de la familia Fabaceae, con 89 006,48 kg/ha, y de la familia Lauraceae, con 50 104,72 kg/ha. El valor económico del secuestro de CO₂ es de 37 493,82 USD/ha; las Fabáceas y las Lauráceas aportan 13 383,01 USD/ha y 7533,74 USD/ha, respectivamente. Según las estadísticas, existe una gran disparidad entre familias en cuanto al valor económico medio del servicio medioambiental del secuestro de CO₂.

Palabras clave: Comparación, ecuaciones alométricas, altura total, diámetro, colina baja, Torres Causana.

ABSTRACT

In a low hill forest in the district of Torres Causana, Loreto, Peru, a comparison of three allometric models was carried out to estimate tree biomass for the economic evaluation of CO₂ sequestration. Information from forest concession 16-LOR-MAR/CON-MAD-2016-035 of the operational plan N° 01 (PC N° 19) of forest concessions for timber purposes was used. The results show that 2760 trees of 34 forest species, 30 genera and 14 botanical families have been recorded. The allometric equation of Higuchi and Carvalho (1994), with $R^2 = 0.88$ and SEE 16.38%, was the most adequate to estimate the individual biomass per tree. The total biomass was 249 360.53 kg/ha, with the largest contributions from the Fabaceae family, with 89 006.48 kg/ha, and the Lauraceae family, with 50 104.72 kg/ha. The economic value of CO₂ sequestration is 37 493.82 USD/ha; Fabaceae and Lauraceae contribute 13 383.01 USD/ha and 7533.74 USD/ha, respectively. According to the statistics, there is a great disparity between families in terms of the average economic value of the environmental service of CO₂ sequestration.

Keywords: Comparison, allometric equations, total height, diameter, low hill, Torres Causana.

INTRODUCCIÓN

Los árboles forestales que absorben dióxido de carbono se encuentran en el bosque de colina baja cercanas a Torres Causana. Siempre que se mida con precisión la biomasa de los árboles del bosque, se podrán evaluar los servicios ecológicos. Existen tres ecuaciones de correlación que pueden utilizarse para estimar esta biomasa, y no está claro qué enfoque es el más eficaz (Brown et al., 1989; Higuchi & Carbalho, 1994 y Chave et al., 2005, citado por Espíritu, 2016, p. 1).

Al utilizar correlaciones entre características difíciles de medir (pesos) y variables que se evalúan directamente en el inventario forestal, los modelos de biomasa ayudan a estimar la biomasa de enormes regiones forestales (diámetro a la altura del pecho, altura comercial y total) (Watzlawick, *et ál.*, 2001, como se citó en Álvarez, 2008a, pp. 1, 2). El primer paso para determinar la productividad de los ecosistemas y la contribución de los bosques tropicales al ciclo global del carbono es calcular la biomasa (Parresol, 1999; Ketterings, *et ál.*, 2001; Castañeda, *et ál.*, 2005, como se citó en (Álvarez, 2008b, p. 13).

Los bosques desempeñan un papel fundamental en el ciclo del carbono al almacenar carbono, absorber CO₂ y liberar oxígeno en la atmósfera. A través de la fotosíntesis, las plantas capturan el dióxido de carbono presente en el aire. No obstante, hay escasa información sobre la cantidad de biomasa arbórea que se encuentra por encima del suelo y sobre una fórmula de correlación que permita medirla con mayor exactitud, lo que facilitaría una evaluación económica del servicio ambiental de secuestro de CO₂ como alternativa a la gestión sostenible de los bosques. Los bosques de la Amazonía albergan una significativa cantidad de biomasa, que abarca una variada vegetación, siendo estos ecosistemas los

principales responsables del secuestro de CO₂ y la fijación de carbono (Espíritu, 2016a, p. 1).

El impacto en el ecosistema forestal de la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) se evalúa mediante ecuaciones de biomasa, que sirven para estimar la biomasa arbórea a partir de los datos de la gestión forestal, ayudan a evaluar la estructura y el estado de los bosques, cuantifican el rendimiento y determinan las reservas de carbono y la tasa de secuestro de carbono (Navar, 2009; Mendes-Gonzalez, Lucky-Navarrete, Capo Arteaga y Najera Luna, 2011; Washum y Jayakumar, 2012, como se citó en Navarro et al., 2020b, p. 2). Esta técnica requiere la medición de variables dasométricas de los procesos de degradación de las plantas y la estimación basada en la composición estructural de la biomasa aérea (Hernández-Ramos, *et al.*, 2017, como se citó en (Navarro et al., 2020a, p. 2).

En un bosque de colina baja ubicado en Torres Causana, Loreto, en 2022, el propósito fundamental de este estudio es determinar la ecuación alométrica que optimice el cálculo de la biomasa arbórea, con el fin de facilitar su valoración económica en relación al secuestro de CO₂.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO

1.1. Antecedentes

Se llevó a cabo una investigación de tipo descriptivo, correlacional y de nivel elemental en el arboreto "El Huayo" durante el año 2016. En este estudio, se determinó que todas las especies forestales presentes en la parcela 8, con un DAP inferior a 10 cm, conformaban la población objeto de estudio. Los resultados indicaron que la ecuación alométrica de Higuchi y Carvalho (1994) presentó el mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,87$) y el menor error estándar estimado (SEE = 12,28%), lo que la posicionó como la mejor opción para estimar la biomasa aérea de cada individuo arbóreo. En contraste, las ecuaciones de Brown et al. (1989) y Chavé et al. (2005) mostraron valores de R^2 de 0,84 y 0,82, y errores estándar de 15,90% y 15,92%, respectivamente. La familia Fabaceae, compuesta por 9 especies y 66 individuos, fue la que más CO₂ secuestró, alcanzando un total de 63,18 tCO₂. Le siguió la familia Lecythidaceae, con 8 especies y 115 individuos, que capturó 51,99 tCO₂. Por otro lado, las familias Violaceae y Lauraceae mostraron los menores niveles de secuestro de CO₂, con cada una aportando 1,84 tCO₂ y 0,53 tCO₂, respectivamente, a pesar de contar con 1 especie y 8 individuos y 4 especies y 7 individuos, en cada caso. Toda la región tiene un valor económico de 1619,98 USD/tCO₂, siendo la familia Fabaceae la que tiene el valor más alto (422,97 USD/tCO₂), seguida de la familia Lecythidaceae (348,05 USD/tCO₂), y las familias Violaceae y Lauraceae las que tienen los valores más bajos (12,30 USD/tCO₂ y 3,57 USD/tCO₂, respectivamente). (Espíritu, 2016b, pp. 32-34).

Se planificó y completó un estudio descriptivo, correlacional y de nivel elemental en 2016 en la parcela 18 del arboreto "El Huayo" como población de estudio para todas las especies forestales existentes con DAP mayor o igual a 10 cm. Los resultados

muestran que el modelo alométrico propuesto por Brown *et al.* (1989) reporta el mayor valor de biomasa estimada con 131 990 kg/ha, mientras que el modelo propuesto por Higuchi y Carvalho (1994) reporta el menor valor con 135 kg/ha. La biomasa aérea total fue estimada indirectamente utilizando modelos de regresión con variables obtenidas en el campo. Los tres modelos alométricos investigados se ajustan bien al modelo de regresión lineal múltiple. Además, es importante notar que el modelo alométrico propuesto por Chave *et al.* (2005) presenta el coeficiente más alto (Del Castillo, 2016a, pp. 20-24).

Un estudio descriptivo, tanto cualitativo como cuantitativo, que empleó un diseño estratificado, se llevó a cabo en el distrito de Indiana en 2019. Este análisis determinó que la población objeto de estudio abarcaba todas las especies forestales con DAP. Los resultados revelaron que en la selva baja hay un total de 89916,450 kg de biomasa, destacándose el aguanillo como la especie con mayor cantidad, con 7556,650 kg, seguido por el pashaco (6535,580 kg), el almendro (4932,300 kg), la cumala blanca (4797,880 kg), el palisangre (4762,21 kg) y el caimitillo (4757,48 kg). Por otro lado, las especies con menor biomasa fueron la huamanza (109,680 kg), seguida de la shiringa (221,290 kg), el estoraque (300,600 kg), el mashonaste (312,480 kg), el shihuahuaco (312,820 kg) y el chontaquiro (330,880 kg). Además, se observó que el valor de biomasa en la clase de diámetro de 60 a 69 cm es el más alto, con 21255,510 kg, seguido por las clases de 90 y más (18490,450 kg), 70 a 79 cm (17923,980 kg) y 50 a 59 cm (17187,830 kg). La reserva total de carbono del bosque se estima en 44958,22 tC, siendo el aguanillo la especie que concentra la mayor reserva, con 3778,33 tC, seguido por el pashaco (3267,79 tC), el almendro (2466,15 tC), la cumala blanca (2398,94 tC) y el palisangre (2381,11 tC). (Mori, 2019, pp. 25-27).

Se llevó a cabo una investigación descriptiva y de nivel elemental con un diseño estratificado en la cuenca media del río Arabela en 2015. Los resultados indicaron que la población de estudio incluía todas las especies forestales con un DAP inferior a 10 cm. El análisis reveló que de un total de 191,88 t/ha de biomasa, las 25 especies del bosque de terraza baja representaron 169,49 t/ha, lo que equivale al 88,33% de la biomasa total. Entre las especies con mayor biomasa verde se encuentran *Eschweilera bracteosa*, conocida como "machimango negro" (32,900 kg/ha), *Dipterix odorata*, llamada "charapilla" (19,270 kg/ha), *Buchenavia amazonia*, conocida como "yacushapana" (14,990 kg/ha), *Guatteria elata*, o "carahuasca" (14,440 kg/ha), y *Licania octandra*. Entre las plantas con mayor biomasa verde se encuentran *Pouteria guianensis* "caimitillo", *Eschweilera bracteosa* "machimango negro", *Parkia igneiflora* "pashaco", *Inga* sp. "shimbillo" y *Couepia bracteosa* "parinari", que juntas suman 18 600 kg/ha, 13 060 kg/ha y 13 020 kg/ha. Las especies con mayor biomasa verde son *Brosimum lactescens* "chimicua" (11 960 kg/ha), *Parkia igneiflora* "pashaco" (12 290 kg/ha), *Couepia bracteosa* "parinari" (12 900 kg/ha) y *Eschweilera bracteosa* "machimango negro" (10 960 kg/ha). De acuerdo con los datos, el bosque de colina baja presentó un total de 100,41 tC/ha, lo que representa 84,41 tC/ha, es decir, el 88,34% del total de 95,55 tC/ha. En segundo lugar, se ubicó el bosque de terraza alta, con 70,55 tC/ha, que corresponde al 66,24% del total de 106,51 tC/ha. Finalmente, el bosque de colina baja ocupó el tercer lugar con 71,39 tC/ha, que representa el 71,10% del total de 106,51 tC/ha (Frias, 2015, pp. 44, 45).

1.2. Bases teóricas

El diámetro normal, la altura total y el diámetro de copa de un árbol se relacionan básicamente mediante ecuaciones matemáticas denominadas modelos de

correlación. Estos modelos deben desarrollarse utilizando muestras de árboles destruidos. El tamaño de la muestra debe elegirse de forma que el error de predicción del modelo se sitúe dentro de los límites permitidos; normalmente se piensa que se alcanzan valores de error aceptables cuando hay más de 20 individuos, distribuidos uniformemente en todas las clases de diámetro. Las numerosas partes de la planta trabajan juntas en simbiosis para producir toda la biomasa de cada individuo. Una vez alcanzada, el objetivo era establecer una relación causal entre la biomasa del árbol y diversas características que se midieron estadísticamente en su estado en pie (Vallejo, *et al.*, 2007, como se citó en Vincent, 2018a, p. 11).

Elegir los modelos que ofrecen el equilibrio óptimo entre precisión y complejidad de los datos es el objetivo del proceso de evaluación. Aunque sean más inestables y modelicen la volatilidad de los datos en lugar de su tendencia, los modelos con más parámetros se adaptan mejor a la base de datos. (Posada, *et al.*, 2007, como se citó en Vincent, 2018b, p. 12). El coeficiente de determinación (R^2 ajustado) y el error estándar de predicción (SFE), entre otros parámetros, pueden utilizarse para evaluar los modelos (Segura y Kanninen, 2005; Segura y Andrade, 2008, como se citó en Vincent, 2018c, p. 12).

Cualquier composición del ecosistema requiere un estudio destructivo directo para medir la biomasa aérea (Brown, *et al.*, 1989; Acosta, *et al.*, 2002, como se citó en Álvarez, 2008c, p. 17) o cálculos indirectos de materiales vegetales para fines aplicables; el segundo escenario es más útil cuando se calcula la biomasa sobre el suelo de un árbol. Para ello, se requieren modelos matemáticos basados en las interacciones de la biomasa entre los órganos de un mismo árbol, así como

modelos que estimen la biomasa total en función del tamaño y las dimensiones del árbol (Huxley, 1932; Acosta, *et al.*, 2002, como se citó en Álvarez, 2008d, p. 17). Las variables más utilizadas fueron el diámetro a la altura del pecho (DBH), el diámetro a la altura del tocón (Dat), la altura comercial (hc), la altura total (ht) y su combinación. Estos modelos se emplean habitualmente en silvicultura porque ofrecen una mayor flexibilidad en su aplicación (Prado, *et al.*, 1987; Garcinuño, 1995; Gayoso, *et al.*, 2002, como se citó en (Álvarez, 2008e, p. 17).

La mayoría de los estudios centrados en los trópicos han demostrado que el DAP es el factor independiente que explica con mayor eficacia la biomasa arbórea. (Overman, *et al.*, 1994; Regina, 2000, como se citó en Álvarez, 2008f, p. 17). Es sencillo de medir y utilizar, por lo que muchos autores lo hacen multiplicándolo por otras variables o transformándolo de algún modo. En general, se aprecia una tendencia no lineal cuando se representa gráficamente una muestra representativa de datos de DAP y biomasa arbórea, y una nube de puntos revela el problema de la varianza, que se refleja en el aumento de la varianza al aumentar el diámetro. (Overman, *et al.*, 1990; Álvarez, 1993; Overman, *et al.*, 1994, como se citó en Álvarez, 2008g, p. 17).

La identificación y cuantificación física y monetaria de las ventajas e inconvenientes resultantes de las modificaciones de los servicios medioambientales que prestan los recursos naturales puede interpretarse como valoración económica. La actividad humana es la causa de los cambios en la naturaleza. Dado que el mercado no considera ni modifica los precios de valor de los servicios ambientales, la valoración económica se ofrece como alternativa (Maza, 2019a, p. 32).

Dado que en la literatura medioambiental se encuentran nociones diferentes, definir los bienes y servicios medioambientales no es tarea fácil. Por ejemplo, el término "servicios ecosistémicos" ha sido objeto de numerosas interpretaciones variadas y en ocasiones incompatibles. La expresión "servicios ecosistémicos" ha sido objeto de numerosas interpretaciones variadas y en ocasiones incompatibles porque a veces se utiliza para referirse a las operaciones internas de los ecosistemas (como el reciclaje de nutrientes y la conservación del flujo energético, entre otras cosas). (De Groot, *et al.*, 2002, como se citó en Maza, 2019b, p. 33).

Mediante la valoración económica medioambiental se intenta cuantificar los bienes y servicios que proporcionan los recursos naturales. En consecuencia, es necesaria la fijación de precios, ya que el mercado no puede distribuir adecuadamente los precios y los recursos en la economía. Hay muchos productos y servicios medioambientales disponibles en el mercado sin un "precio". La valoración nos informa de que el medio ambiente no es gratis, y nuestra responsabilidad es demostrar sus limitaciones (Maza, 2019c, p. 35).

1.3. Definición de términos básicos

Almacenamiento: Impactos y proceso de almacenar (conservar, situar, depositar en un depósito) (Lino, 2009a, p. 16).

Biomasa: organismos presentes en una zona o región determinada, medidos en peso o volumen (Gonzales, *et al.*, 2006, como se citó en Tacco, 2019a, p. 34).

Bosque de colina baja.- Se desarrolla en un entorno montañoso y ondulado, caracterizado por un relieve topográfico con pendientes pronunciadas y complejas que varían entre el 15% y el 35% (Fondo Nacional para Áreas Naturales Protegidas por el Estado (PROFONANPE, 2007, p. 37).

Bosque: Una formación arbórea abierta de altura media con bastantes claros naturales es ideal para que crezcan lianas y otras epífitas (Tacco, 2019b, p. 34).

Carbono: Elemento químico sólido y no metálico que está presente en todos los compuestos orgánicos, así como en ciertos compuestos inorgánicos (Lino, 2009b, p. 16).

Dioxido de carbono (CO₂): Gas incoloro e inodoro con un sabor ligeramente ácido, compuesto por dos átomos de oxígeno y uno de carbono (Lino, 2009c, p. 16).

Especies: Conjunto de elementos que están interrelacionados debido a la posesión de uno o varios rasgos en común (Rae y Asale, 2010, p. 1).

Modelos alométricos.- Específicamente, se trata de fórmulas matemáticas que establecen relaciones entre la biomasa y parámetros de los árboles en pie, tales como el DAP, la altura total y el diámetro de la copa (Vallejo, 2009, como se citó en Del Castillo, 2016b, p. 11).

Secuestro o fijación de CO₂: Es el proceso mediante el cual el dióxido de carbono atmosférico es absorbido y almacenado por la biomasa vegetal como resultado de la fotosíntesis, a través de una serie de reacciones bioquímicas (Lino, 2009d, p. 17).

Servicio ambiental: Conjunto de procesos naturales, que abarca tanto especies como genes, que la sociedad puede utilizar y que las áreas naturales ofrecen simplemente por su existencia (Torres & Guevara, 2002, pp. 40, 41).

Stock de carbono: Todo lo que se mantiene en los componentes del bosque se encuentra presente en ese lugar (Honorio & Baker, 2009, p. 9).

Valoración económica: Valor de un recurso que posibilita a las personas satisfacer sus necesidades estéticas, espirituales u otras, o generar un producto comercial (Barbier, 1993 citado por (Gurmendi & Orihuela, 2019, p. 31).

CAPÍTULO II: HIPÓTESIS Y VARIABLES

2.1. Formulación de la hipótesis

Existe diferencia en el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ entre familias del bosque de colina baja del distrito de Torres Causana, Loreto, 2022.

2.2. Variables y su operacionalización

Variable	Definición conceptual	Tipo por su naturaleza	Indicador	Escala de medición	Medio de verificación
Independiente Ecuaciones alométricas	Son ecuaciones matemáticas que relacionan la biomasa con variables del árbol medibles en pie, tales como el DAP, altura total y diámetro de copa, principalmente.	Cualitativa	- Biomasa aérea - Carbono total - CO ₂ secuestrado	Razón	- Formato de registro de las especies arbóreas existentes en el lugar de estudio
Dependiente Valoración económica del secustro de CO ₂	Valor monetario de servicio ambiental de secuestro de CO ₂ ofertado por los bosques en un determinado momento.	Cuantitativa	- Precio del servicio ambiental de secuestro de CO ₂ .	Razón	Formato de registro de información dasométrica, biomasa y carbono almacenado de los individuos arbóreos de las especies forestales comerciales. Base de datos del inventario y la hoja de cálculos en Excel.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño

La investigación es de nivel elemental, descriptiva y no experimental. El enfoque no experimental se basa en el registro dasométrico de todos los individuos arbóreos existentes en la selva baja del distrito de Torres Causana, Loreto, 2022.

El bosque de colina baja de la concesión forestal 16-LOR-MAR/CON-MAD-2016-035 del plan operativo N° 01 (PC N° 19) para concesiones forestales con fines madereros sirvió como ubicación del estudio (50 ha). Las coordenadas UTM del área de investigación son V1 (9787379 N y 520671 E); V2 (9790250 N y 520671 E); V3 (9790250 N y 9790250 E); V4 (9789871 N y 521555 E); V5 (9789871 N y 524547 E); y V6 (9789871 N y 9790250 N y 9790250 E) (9787379 N y 524547 E). Políticamente, se encuentra bajo el control del Distrito de Torres Causana, Provincia de Maynas, Región Loreto (Anexo 1).

3.2. Diseño muestral

Todos los árboles de especies comerciales con DAP (cm) presentes en la selva baja de la concesión forestal (16-LOR-MAR/CON-MAD-2016-035) en el distrito de Torres Causana formaron la base de esta investigación. Al llevar a cabo un censo exhaustivo, la muestra fue idéntica a la población.

3.3. Procedimientos de recolección de datos

Dado que la base de datos de campo para este estudio ya se ha establecido, en esta etapa se utilizó la ficha de registro del inventario que incluye el nombre de la especie, su DAP, altura comercial, coordenadas UTM y diversas observaciones como herramienta para la recolección de datos en la técnica de censo forestal (anexo 2).

3.4. Procesamiento y análisis de datos

El procedimiento y el análisis de los datos se realizaron empleando la información recopilada en el censo forestal efectuado en el bosque de estudio en 2021. Para ello, se utilizaron los formularios destinados al cálculo de biomasa y reservas de carbono, aplicados a cada árbol individual y a cada especie, los cuales se encuentran en el Anexo 3.

3.4.1. Cálculos

✓ Cálculo de la biomasa

Para el cálculo de la biomasa aérea se utilizó las siguientes ecuaciones alométricas:

(J. J. Espíritu, 2016c, p. 25)

✓ Ecuación alométrica sugerida por Brown *et al.*, (1989)

$$B_{at} = e^{(-2.4090+0.9522 \ln (d^2h\delta))}$$

Dónde:

Bat = Biomasa aérea total (kg)

e = Base del logaritmo natural (2.718271)

d = Diámetro a la altura del pecho (cm)

h = Altura total del árbol (m)

δ = Densidad básica de la madera (g/cm³ o t/m³)

✓ Ecuación alométrica sugerida por Higuchi y Carvalho (1994)

$$Bat = a * DAP^b h^c$$

Dónde:

Bat = Biomasa aérea total (kg)

DAP = Diámetro a la altura del pecho (cm)

h = Altura total del árbol (m)

a = 0,026

b = 1,529

c = 1,747

✓ **Ecuación alométrica sugerida por Chavé, et al., (2014)**

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

Donde:

AGB = Biomasa total o por componente estructural (kg)

D^2 = Diámetro normal (cm)

H = Altura total (m)

ρ = Densidad de madera (g/cm³)

✓ **Cálculo de la biomasa radicular**

Considerando que la biomasa radicular constituye el 20% del peso de la biomasa aérea, se ha llevado a cabo esta estimación (Higuchi y Carvalho, 1994, p. 144, como se citó en Espíritu, 2021a, p. 19), por lo tanto:

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

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

✓ **Cálculo de la biomasa total**

La adición de la biomasa aérea y la biomasa radicular se emplea para calcular la biomasa total (Higuchi y Carvalho, 1994, p. 144, citado en J. M. Espíritu, 2021a, p. 19).

$$B_t = B_a + B_r$$

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

✓ **Cálculo de biomasa seca** (J. J. Espíritu, 2016c, p. 26).

$$B_s = B_{vt} - (B_{vt} * 40)/100$$

Dónde: B_s = Biomasa total en peso seco (kg). 27 B_{vt} = Biomasa verde total (kg).

✓ **Cálculo del carbono almacenado**

Para determinar el carbono almacenado en cada árbol, se multiplicará la biomasa total por 0,5, ya que la materia seca promedio contiene un 50% de carbono (Quiceno & Tangarife, 2013, p. 185).

$$C = 0,5 (B_t)$$

Dónde:

C = Carbono almacenado en toneladas de carbono (tC); B_t = biomasa seca en toneladas (t).

✓ **Cálculo del secuestro de CO₂**

El secuestro de dióxido de carbono se determinó utilizando la fórmula de Vallejo (2009), Alegre (2008), Gamarra (2001) e IPCC (2003), según se menciona en Espíritu (2021b, p. 20):

$$CO_2 = C * 3,67$$

Dónde:

CO₂ = Dióxido de carbono secuestrado en toneladas (tCO₂).

C = Stock de carbono en toneladas de carbono (tC).

3,67 = Factor de conversión de carbono a CO₂, resultante del cociente del peso molecular del CO₂ entre el peso atómico del carbono. Así:

$$C + 2 * O = 12 + (2 * 16) = 44 \quad C = 12 \longrightarrow 44 / 12 = 3,67$$

(Rugnitz, 2011, p. 3)

✓ **Estimación del valor económico del secuestro de CO₂**

La cantidad total de CO₂ secuestrado debe multiplicarse por el precio del carbono en el mercado local para calcular el valor económico del secuestro de CO₂ (IPCC, 1996, como se citó en Espíritu, 2021a, p. 20):

$$VE = CO_2 * \text{Precio de carbono en el mercado (USD)}$$

Para establecer el precio de mercado del servicio de secuestro de carbono, se ha considerado el valor de referencia ofrecido por la Bolsa SENDECO2 correspondiente al mes de diciembre de 2022.

Precios CO₂ (SPOT)	EUA	USD
Último cierre (25-11-2022)	78,68 €	81,94
Media de las últimas 5 sesiones	76,19 €	79,35
Media de las últimas 30 sesiones	74,38 €	77,46
Media de los últimos 12 meses	80,29 €	83,62

Fuente: www.sendeco2.com 1Euro = 1,04 dólares

3.4.2. Criterios utilizados para la selección del mejor modelo alométrico

Los criterios para seleccionar el modelo alométrico que mejor se adapte a la estimación de la biomasa de cada árbol son los siguientes: (Santos, 1996; Higuchi et al., 1998, como se citó en (Espíritu, 2016c, p. 28).

- Coeficiente de determinación (R^2) más alto
- Menor error estándar estimado (SEE)
- Menor dificultad y costo reducido en las mediciones de campo

3.4.3. Análisis estadístico

• Prueba de normalidad

Se aplicaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para evaluar la normalidad de los datos, utilizando el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ por familia en el bosque de colina baja. Se formuló la siguiente hipótesis:

Hipótesis nula (H₀):	La variable aleatoria SI tiene distribución normal	$p\text{-valor} > 0,05$
Hipótesis alterna (H₁):	La variable aleatoria NO tiene distribución normal	$p\text{-valor} < 0,05$

Los resultados de la prueba de normalidad indican que los datos no siguen una distribución normal; por lo tanto, se emplearon las pruebas no paramétricas de Kruskal-Wallis y Chi-cuadrado para el análisis.

<p>Hipótesis nula (H₀): No existe diferencia en el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ entre familias del bosque de colina baja del distrito de Torres Causana, Loreto, 2022.</p>	<p><i>p-valor</i> > 0,05</p>
<p>Hipótesis alterna (H₁): Existe diferencia en el valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ entre familias del bosque de colina baja del distrito de Torres Causana, Loreto, 2022.</p>	<p><i>p-valor</i> < 0,05</p>

3.5. Aspectos éticos

Durante la ejecución de este estudio, se respetaron los cuatro principios éticos fundamentales: autonomía, beneficencia, no maleficencia y justicia. La participación y la posibilidad de solicitar cualquier información relacionada con la investigación se realizaron de forma voluntaria, garantizando el anonimato de los participantes.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Composición florística

La comunidad vegetal del bosque de colina baja consta de 2760 árboles de 34 especies forestales, 30 géneros y 14 familias botánicas (Cuadro 1). Las familias más representativas por tener el mayor número de géneros son las Fabaceae, que tienen nueve, las Lauraceae, que tienen cuatro, las Myristicaceae y las Moraceae, que tienen tres cada una.

Sin embargo, el gran número de individuos de *Parkia igneiflora* hizo que la familia Fabaceae, que consta de 9 géneros y 914 especies, tuviera un impacto significativo en el número de árboles (414 plantas). La familia Lauraceae ocupa el segundo lugar, con 596 individuos, y *Aniba panurensis* destaca con 460 plantas. Con 361 árboles, la familia Myristicaceae ocupa el tercer lugar, destacando *Osteophloeum platyspermum* con 346 plantas. Sapotaceae cuenta con 267 individuos, Vochysiaceae con 112 individuos, Moraceae con 165 individuos y Lecythidaceae con 105 individuos. Las familias con menos árboles son: Bignoniaceae (39 plantas), Caryocaraceae (38 plantas), Anacardiaceae (39 plantas), Burseraceae (24 plantas), Lecythidaceae (36 plantas), Chrysobalanaceae (35 plantas) y Calophyllaceae (19 plantas) (49 plantas). En la figura 1 se observa una gran diferencia en el número de árboles en una familia, por un lado, se encuentran familias con un gran número de individuos como Fabaceae y Lauraceae, que en conjunto tienen 1510 árboles, lo que representa el 54,71%, y por otro lado, hay familias con un número muy pequeño de árboles, como Calophyllaceae y Burseraceae, que juntas hacen 43 plantas o sea el 1,56%.

Aniba panurensis y *Parkia igneiflora*, que juntas representan el 31,67% de la población arbórea total (874 árboles), son las dos especies más comunes, seguidas de *Osteophloeum platyspermum*, *Ecclinusa lanceolata*, *Tachigali cavipes*, *Vochysia vismiifolia*, *Caryodaphnopsis inaequalis* y *Cedrelinga cateniformis*.

Cuadro 1. Relación de especies, géneros, familias y número de árboles

N°	Especie		Familia	N° de árboles
	Nombre común	Nombre científico		
1	Aguanillo	<i>Otoba parvifolia</i>	Myristicaceae	6
2	Almendro colorado	<i>Caryocar amygdaliforme</i>	Caryocaraceae	38
3	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i>	Meliaceae	9
4	Anis moena	<i>Ocotea javitensis</i>	Lauraceae	7
5	Añuje rumo	<i>Anaueria brasiliensis</i>	Lauraceae	10
6	Azucar huayo	<i>Hymenaea oblongifolia</i>	Fabaceae	8
7	Caimitillo	<i>Ecclinusa lanceolata</i>	Sapotaceae	210
8	Canela moena	<i>Ocotea aciphylla</i>	Lauraceae	10
9	Casho	<i>Anacardium giganteum</i>	Anacardiaceae	39
10	Chontaquiuro	<i>Diploptropis purpurea</i>	Fabaceae	76
11	Copal	<i>Protium aracouchini</i>	Burseraceae	24
12	Cumala Caupuri	<i>Virola flexuosa</i>	Myristicaceae	9
13	Cumala llorona	<i>Osteophloeum platyspermum</i>	Myristicaceae	346
14	Guariuba	<i>Clarisia racemosa</i>	Moraceae	67
15	Huayruro	<i>Ormosia amazonica</i>	Fabaceae	85
16	Lagarto caspi	<i>Calophyllum brasiliense</i>	Calophyllaceae	19
17	Loro micuna	<i>Helicostylis tomentosa</i>	Moraceae	14
18	Machimango	<i>Eschweilera coriacea</i>	Lecythidaceae	94
19	Mari mari	<i>Hymenolobium excelsum</i>	Fabaceae	52
20	Moena	<i>Aniba panurensis</i>	Lauraceae	460
21	Palisangre	<i>Brosimum rubescens</i>	Moraceae	84
22	Palta moena	<i>Caryodaphnopsis inaequalis</i>	Lauraceae	109
23	Papelillo	<i>Cariniana pyriformis</i>	Lecythidaceae	11
24	Parinari	<i>Couepia paraensis</i>	Chrysobalanaceae	35
25	Pashaco	<i>Parkia igneiflora</i>	Fabaceae	414
26	Quillosa	<i>Vochysia vismiifolia</i>	Vochysiaceae	112
27	Quinilla	<i>Chrysophyllum prieurii</i>	Sapotaceae	57
28	Requia	<i>Guarea glabra</i>	Meliaceae	27
29	Shihuahuaco	<i>Dipteryx micrantha</i>	Fabaceae	33
30	Shimbillo	<i>Inga pezizifera</i>	Fabaceae	13
31	Shiringa	<i>Handroanthus serratifolius</i>	Bignoniaceae	36
32	Tahuari	<i>Handroanthus serratifolius</i>	Bignoniaceae	13
33	Tangarana de altura	<i>Tachigali cavipes</i>	Fabaceae	128
34	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	Fabaceae	105
Total				2760

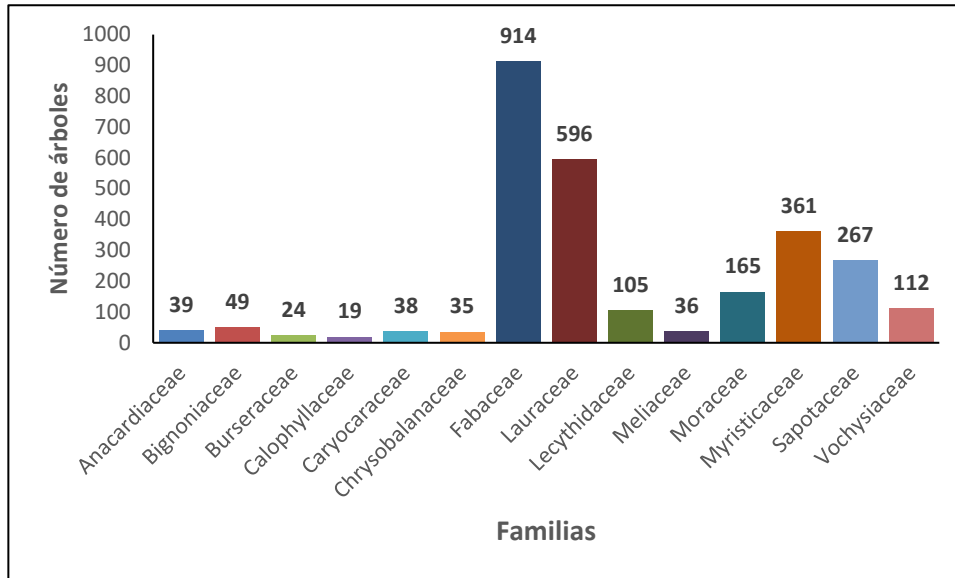


Figura 1. Distribución del número de árboles por familia

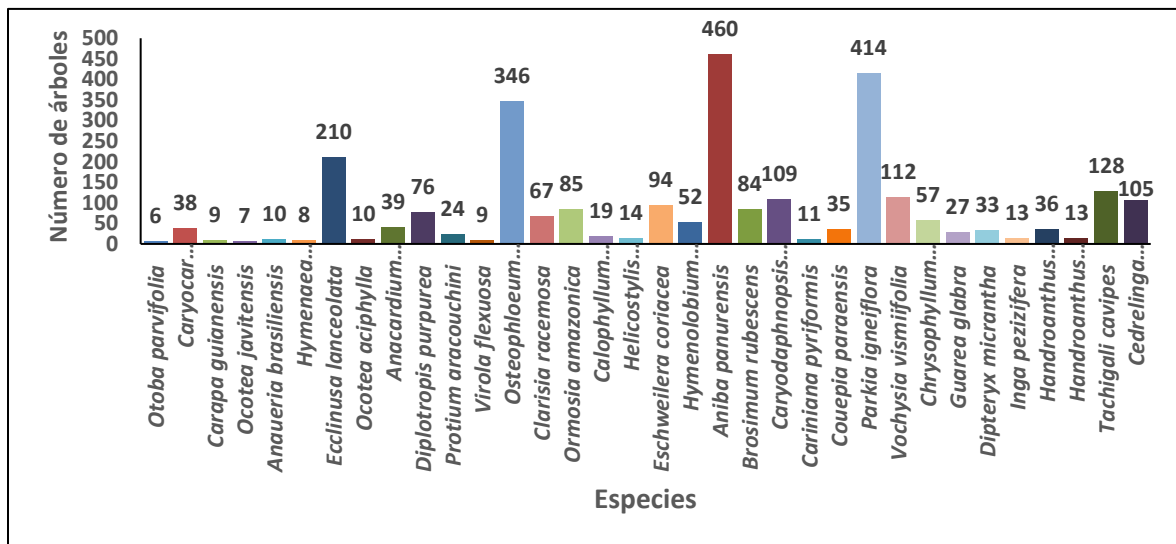


Figura 2. Distribución del número de árboles por especie

4.2. Ecuaciones alométricas evaluadas

La ecuación alométrica más adecuada para estimar la biomasa de cada árbol individual se presenta en el cuadro 2. Al compararla con la ecuación de correlación propuesta por Brown et al. en 1989 ($R^2=0,87$ y $SEE=18,81\%$) y la de Chave et al. en 2005 ($R^2=0,86$ y $SEE=19,58\%$), se observa que la ecuación sugerida por Higuchi y Carvalho (1994) presenta un coeficiente de determinación superior ($R^2=0,88$) y un menor error estándar estimado ($SEE=16,38\%$).

Cuadro 2. Ecuaciones alométricas evaluadas con sus valores de R² y SEE (%)

Ecuaciones alométricas	Biomasa aérea total (kg/ha)	Parámetros estimados del modelo de regresión simple				R ²	SEE (%)
		Constante (a)	DAP (bx ₁)	Altura total (cx ₂)	Densidad (dx ₃)		
Brown, <i>et al</i> (1989)	244333,082	-158,268	1,874	1,435	120,735	0,87	18,81
Higuchi y Carvalho (1994)	249360,53	-115,104	1,447	4,447		0,88	16,38
Chave, <i>et al</i> (2014)	239921,965	-159,673	1,882	1,384	121,802	0,86	19,58

4.3. Biomasa

Las estimaciones de biomasa para 14 familias de la selva baja se muestran en el cuadro 3, basadas en la ecuación de Higuchi y Carvalho (1994). Los resultados indican que la biomasa total del bosque era de 12 468 026,39 kg (249 360,53 kg/ha), siendo la familia Fabaceae la que tenía la mayor cantidad de biomasa con nueve especies y 914 árboles, con 4 450 324,15 kg (89 006,48 kg/ha), seguida de Lauraceae con cinco especies y 596 árboles (2505235,97 kg; 50104,72 kg/ha), y Myristicaceae con tres especies y 361 árboles (1 443 126,32 kg; 28 862,53 kg/ha); por otro lado se encuentra menos biomasa en las familias Calophyllaceae (una especie y 19 árboles; 82 680,64 kg; 1653,61 kg/ha), Chrysobalanaceae (una especie y 35 árboles; 125 077,91 kg; 2501,56 kg/ha) y Meliaceae (dos especies y 36 árboles).

Fabaceae tiene la mayor biomasa (89006,48 kg/ha), seguida de Lauraceae (50104,72 kg/ha) y Myristicaceae (28862,53 kg), que juntas representan el 67,36% de la biomasa total por hectárea y las 11 familias restantes representan colectivamente el 32,64%, como se muestra en la figura 3.

Cuadro 3. Biomasa por familia en kilogramos por hectárea

N°	Familia	Número de árboles	Biomasa (kg/ha)	Biomasa (kg)
1	Fabaceae	914	89006,48	4450324,15
2	Lauraceae	596	50104,72	2505235,97
3	Myristicaceae	361	28862,53	1443126,32
4	Sapotaceae	267	24481,32	1224065,91
5	Moraceae	165	17161,00	858049,90
6	Vochysiaceae	112	10115,42	505771,13
7	Lecythidaceae	105	6592,07	329603,41
8	Bignoniaceae	49	4499,71	224985,33
9	Anacardiaceae	39	4311,25	215562,60
10	Caryocaraceae	38	3933,42	196670,95
11	Burseraceae	24	3418,65	170932,48
12	Meliaceae	36	2718,79	135939,69
13	Chrysobalanaceae	35	2501,56	125077,91
14	Calophyllaceae	19	1653,61	82680,64
	Total	2760	249360,53	12468026,39

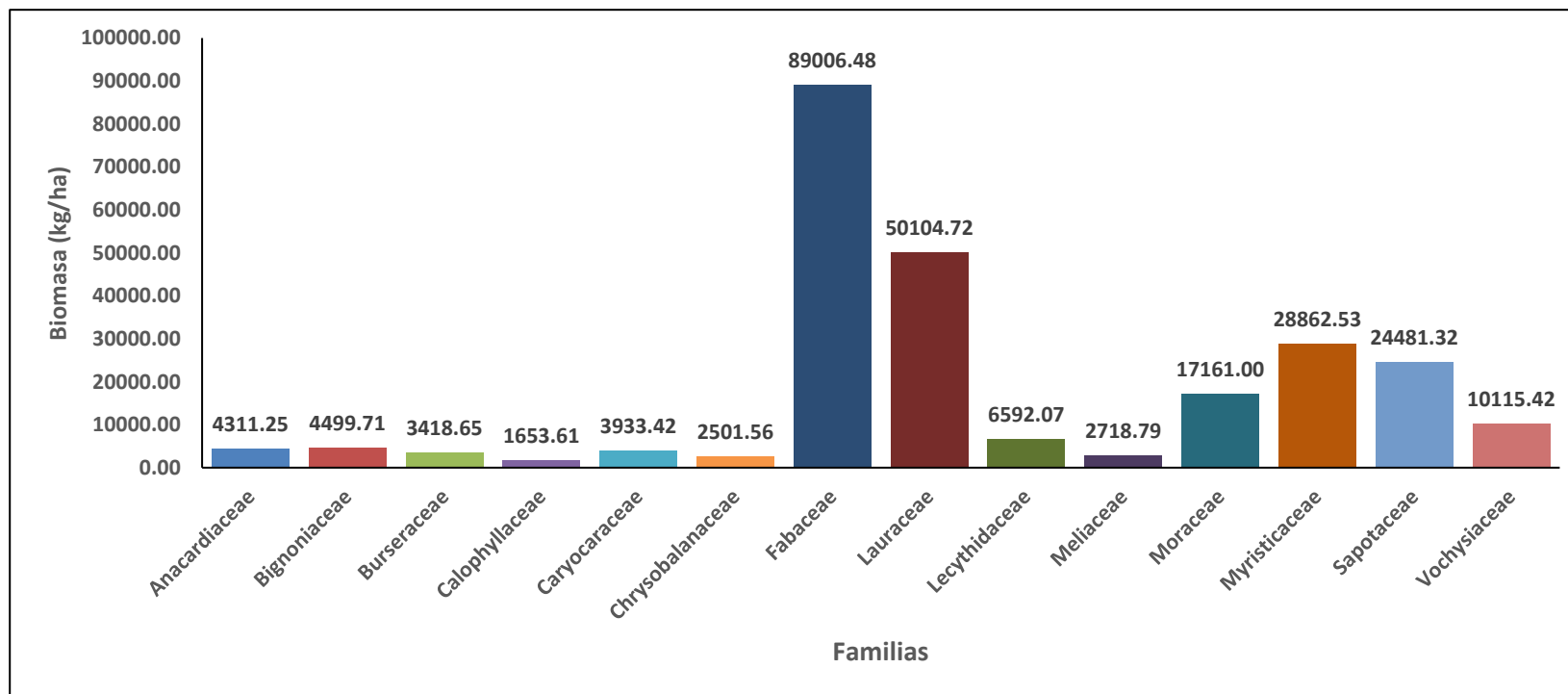


Figura 3. Biomasa por familia en kilogramos por hectárea

4.4. Carbono almacenado

El cuadro 4 muestra las reservas de carbono de las 14 familias incluidas en el censo forestal. Se midió un total de 6234,01 tC (124,68 tC/ha); la familia Fabaceae, que contiene nueve especies y 914 árboles, tiene la mayor cantidad de carbono almacenado con 2225,16 tC (44,50 tC/ha), seguida de la familia Lauraceae con cinco especies y 596 árboles (1252,62 tC; 25,05 tC/ha) y la familia Myristicaceae con tres especies y 361 árboles (721,56 tC; 14,43 tC/ha). Las familias Calophyllaceae (una especie y 19 árboles; 41,34 tC; 0,83 tC/ha), Chrysobalanaceae (una especie y 35 árboles; 62,54 tC; 1,25 tC/ha) y Meliaceae (dos especies y 36 árboles; 67,97 tC; 1,36 tC/ha) registran reservas de carbono inferiores.

Cuadro 4. Carbono almacenado por familia en toneladas por hectárea

N°	Familia	Número de árboles	Carbono almacenado (tC/ha)	Carbono almacenado (tC)
1	Fabaceae	914	44,50	2225,16
2	Lauraceae	596	25,05	1252,62
3	Myristicaceae	361	14,43	721,56
4	Sapotaceae	267	12,24	612,03
5	Moraceae	165	8,58	429,02
6	Vochysiaceae	112	5,06	252,89
7	Lecythidaceae	105	3,30	164,80
8	Bignoniaceae	49	2,25	112,49
9	Anacardiaceae	39	2,16	107,78
10	Caryocaraceae	38	1,97	98,34
11	Burseraceae	24	1,71	85,47
12	Meliaceae	36	1,36	67,97
13	Chrysobalanaceae	35	1,25	62,54
14	Calophyllaceae	19	0,83	41,34
Total		2760	124,68	6234,01

La figura 4 muestra la cantidad de carbono almacenado por familia en toneladas por hectárea. La familia Fabaceae tiene la mayor cantidad de carbono almacenado (44,50 tC/ha), seguida de la familia Lauraceae (25,05 tC/ha) y la familia

Myristicaceae (14,43 tC). Estas tres familias representan en total el 67,36% del carbono por hectárea, mientras que las otras 11 familias representan el 32,64%.

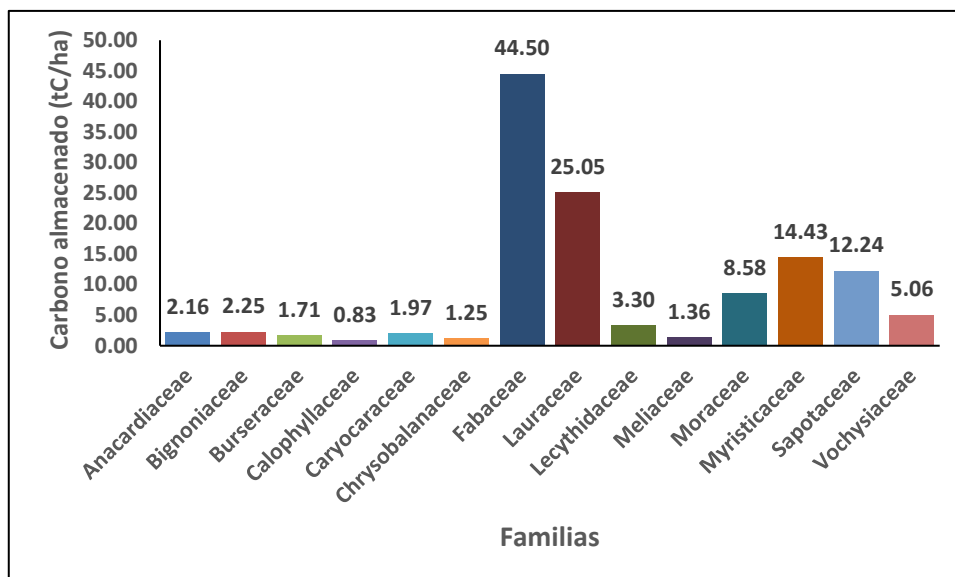


Figura 4. Carbono almacenado por familia en toneladas por hectárea

4.5. Secuestro de CO₂

El secuestro de CO₂ por familia, por hectárea y en conjunto para las 14 familias incluidas en el censo forestal se muestra en el cuadro 5. En todo el bosque se secuestraron 22 878,83 tCO₂ (457,58 tCO₂/ha). Las Lauraceae, con cinco especies y 596 árboles (4597,11 tCO₂; 91,94 tCO₂/ha), y las Myristicaceae, con tres especies y 361 árboles (2648,14 tCO₂; 52,96 tCO₂/ha), presentan el segundo mayor secuestro de CO₂, seguidas de la familia Fabaceae, con nueve especies y 914 árboles. Por el contrario, el secuestro de CO₂ es menor en las familias Meliaceae, que tienen dos especies y 36 árboles (249,45 tCO₂; 4,99 tCO₂/ha), Chrysobalanaceae, que tienen una especie y 35 árboles (229,52 tCO₂; 4,59 tCO₂/ha), y Calophyllaceae, que tienen una especie y 19 árboles (151,72 tCO₂; 3,03 tCO₂/ha). La Figura 5 muestra las toneladas por hectárea de secuestro de CO₂ por familia. Con 163,33 tCO₂/ha, la familia Fabaceae tiene el mayor secuestro de CO₂,

seguida de las familias Lauraceae y Myristicaceae, que juntas representan el 67,36% del secuestro total de CO₂ por hectárea y el 32,64% de las 11 familias restantes.

Cuadro 5. Secuestro de CO₂ por familia en toneladas por hectárea

N°	Familia	Número de individuos	Secuestro de CO ₂ (tCO ₂ /ha)	Secuestro de CO ₂ (tCO ₂)
1	Fabaceae	914	163,33	8166,34
2	Lauraceae	596	91,94	4597,11
3	Myristicaceae	361	52,96	2648,14
4	Sapotaceae	267	44,92	2246,16
5	Moraceae	165	31,49	1574,52
6	Vochysiaceae	112	18,56	928,09
7	Lecythidaceae	105	12,10	604,82
8	Bignoniaceae	49	8,26	412,85
9	Anacardiaceae	39	7,91	395,56
10	Caryocaraceae	38	7,22	360,89
11	Burseraceae	24	6,27	313,66
12	Meliaceae	36	4,99	249,45
13	Chrysobalanaceae	35	4,59	229,52
14	Calophyllaceae	19	3,03	151,72
Total		2760	457,58	22878,83

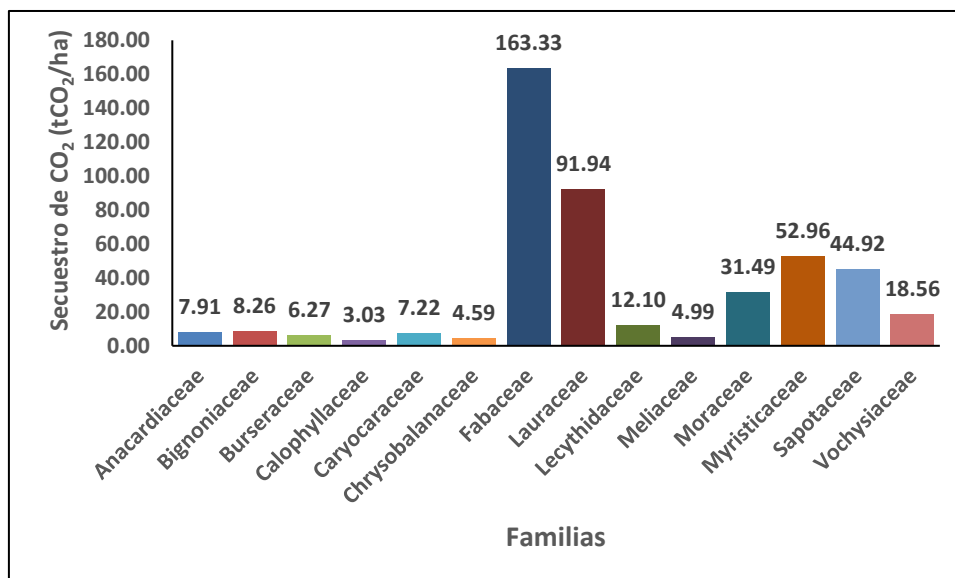


Figura 5. Secuestro de CO₂ por familia en toneladas por hectárea

4.6. Valoración económica del secuestro de CO₂

El valor económico del secuestro de CO₂ como servicio medioambiental para las 14 familias incluidas en el censo forestal se muestra en el cuadro 6 y en la figura 6 por familia, hectárea y global. Las cifras mostradas se refieren al 25 de noviembre de 2022. (SENDECO2, 2022). En total, el bosque tenía un valor de 1 874 691,20 USD (37493,82 USD/ha). La familia Lauraceae, que cuenta con cinco especies y 596 árboles y un valor de CO₂ de 376 687,03 USD (7533,74 USD/ha), y la familia Myristicaceae, que cuenta con tres especies y 361 árboles y un valor de CO₂ de 216 988,33 USD (4339,77 USD/ha), registran los valores económicos de CO₂ más elevados. La familia Fabaceae cuenta con nueve especies y 914 árboles. Las familias Meliaceae, por su parte, contribuyen menos económicamente al secuestro de CO₂, con dos especies y 36 árboles (20 439,88 USD; 408,80 USD/ha), Chrysobalanaceae con una especie y 35 árboles (18 806,70 USD; 591,43 USD/ha), y Calophyllaceae con una especie y 19 árboles (12431,85 USD; 248,64 USD/ha), respectivamente.

Cuadro 6. Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ por familia y por hectárea

N°	Familia	Número de individuos	Valor económico del secuestro de CO ₂ (USD/ha)	Valor económico del secuestro de CO ₂ (USD)
1	Fabaceae	914	13383,01	669150,29
2	Lauraceae	596	7533,74	376687,03
3	Myristicaceae	361	4339,77	216988,33
4	Sapotaceae	267	3681,01	184050,43
5	Moraceae	165	2580,33	129016,30
6	Vochysiaceae	112	1520,95	76047,70
7	Lecythidaceae	105	991,18	49559,14
8	Bignoniaceae	49	676,58	33828,77
9	Anacardiaceae	39	648,24	32411,97
10	Caryocaraceae	38	591,43	29571,42
11	Burseraceae	24	514,03	25701,39
12	Meliaceae	36	408,80	20439,88
13	Chrysobalanaceae	35	376,13	18806,70
14	Calophyllaceae	19	248,64	12431,85
Total		2760	37493,82	1874691,20

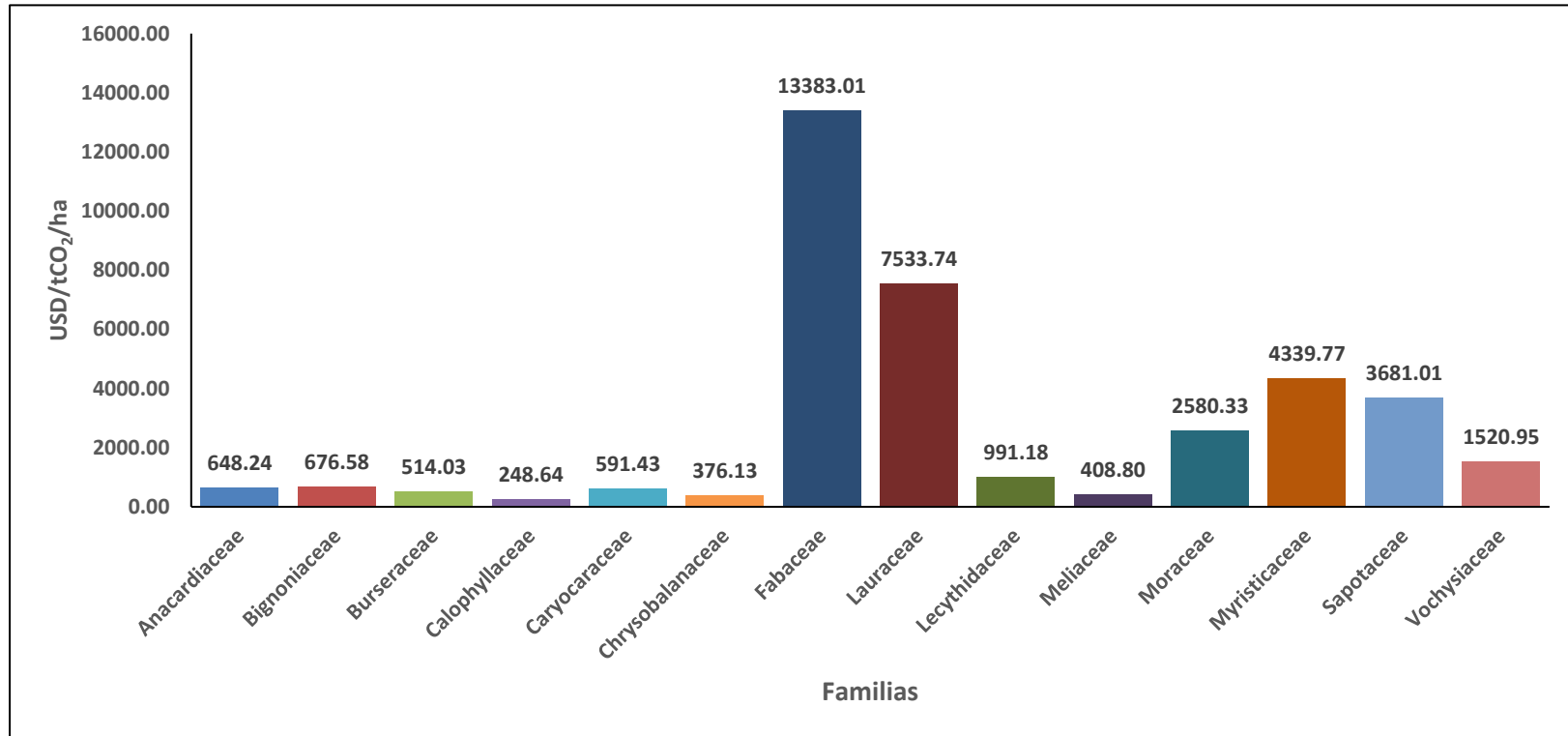


Figura 6. Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ por familia y por hectárea

4.7. Análisis estadístico

4.7.1. Prueba de normalidad

Se llevó a cabo una prueba de normalidad utilizando el modelo de Shapiro-Wilk para determinar si los datos (valor medio del DAP y altura total de 14 familias en relación con el valor económico del secuestro de CO₂) presentan una distribución normal. Los resultados de esta prueba se presentan en el cuadro 7.

Para el análisis, se aplicó el modelo de Shapiro-Wilk considerando que $n = 14$ (correspondiente al número de familias) y que el p-valor del valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ (p-valor = 0,000) es menor que 0,05. La media económica estimada del secuestro de CO₂, calculada fuera de la caja, se ilustra en la figura 7.

Por lo tanto, se puede concluir que las estadísticas del DAP y la altura de la población no se distribuyen de manera normal. En consecuencia, la hipótesis sobre el valor económico del secuestro de CO₂ fue verificada mediante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis.

Cuadro 7. Prueba de normalidad del valor económico del secuestro de CO₂

	Prueba de normalidad		
	Estadístico	Shapiro-Wilk	
		gl	Sig.
Valor económico del Servicio ambiental del secuestro de CO ₂	0,689	14	0,000

a. Corrección de significación de Lilliefors

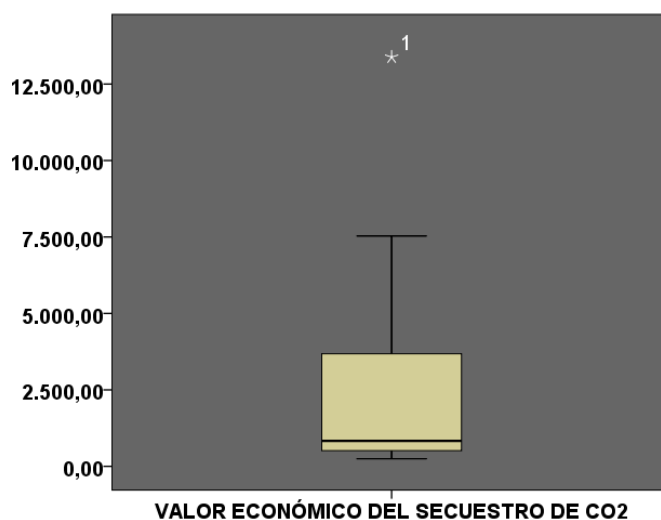


Figura 7. Diagrama de caja para el valor económico del secuestro de CO₂

4.7.2. Prueba de hipótesis

Los resultados de la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis sobre el valor económico de los beneficios ambientales del secuestro de CO₂ para cada familia se presentan en el cuadro 8. Se ha observado que existen variaciones en los rangos medios de los parámetros analizados.

Los resultados de la prueba Chi-cuadrado (valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂, p-valor = 0,002) indican que el p-valor del comparador está por debajo del nivel de significación establecido en 0,05 para el parámetro estudiado.

La conclusión de este estudio es que hay una diferencia significativa en el valor económico promedio del secuestro de CO₂ entre las familias, a un nivel de significación de 0,05. Esto lleva al rechazo de la hipótesis nula y a la aceptación de la hipótesis alternativa.

Cuadro 8. Prueba de hipótesis no paramétrica de Kruskal-Wallis del valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂

Rangos			
	Familias	N	Rango promedio
Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO ₂	Anacardiaceae	5	35,10
	Bignoniaceae	5	36,20
	Burseraceae	5	41,20
	Calophyllaceae	5	30,80
	Caryocaraceae	5	41,70
	Chrysobalanaceae	5	24,60
	Fabaceae	5	49,60
	Lauraceae	5	12,60
	Lecythidaceae	5	32,00
	Meliaceae	5	24,60
	Moraceae	5	68,00
	Myristicaceae	5	39,80
	Sapotaceae	5	46,10
	Vochysiaceae	5	14,70
	Total	70	

Cuadro 9. Prueba de Chi-cuadrado

Estadísticos de contraste ^{a, b}

Valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂	
Chi-cuadrado	32,438
gl	13
<i>p-valor</i>	0,002

a. Prueba de Kruskal-Wallis

b. Variable de agrupación: Familias

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

El modelo de Higuchi y Carvalho (1994), con un R^2 de 0,88 y un SEE de 16,38%, resultó ser la ecuación alométrica de la presente investigación que mejor se ajustaba a la estimación. En contraste con las conclusiones de Espiritu, (2016, p. 30), el modelo propuesto por Higuchi y Carvalho (1994) también se ajustó a la distribución de regresión lineal múltiple, con un coeficiente de determinación de $R^2=0,87$ y un error estándar estimado (SEE) más bajo del 12,28%, en comparación con la ecuación propuesta por Brown *et al.*, (1989) ($R^2=0,87$ y SEE de 18,81%) y la ecuación sugerida por Chavé *et al.*, (2005) ($R^2=0,86$ y SEE de 19,58%), respectivamente; mientras que Del Castillo, (2016c, p. 20), señala que la ecuación alométrica que mejor se ajustó a la distribución de regresión lineal múltiple fue la de Chavé, *et al.*, (2005) ($R^2 = 0,88$) y las la ecuaciones alométricas de Brown, *et al.*, (1989) e Higuchi y Carvalho, (1994) reportan menor valor con $R^2= 0,85$ cada uno. Las ecuaciones de estimación de biomasa a menudo usan el diámetro normal como variable independiente, pero usar la altura total aumenta el poder predictivo del modelo. La ausencia de esta variable puede conducir a una sobreestimación de la biomasa Feldpausch, *et al.*, 2012; Ruiz-Aquino, *et al.*, 2014, como se citó en Cortés *et al.*, (2019a, p. 5). La estimación precisa de la biomasa es importante para los diversos fines que necesitan los usuarios, como una herramienta de planificación de la gestión forestal, para estudiar el rendimiento y/o la absorción de nutrientes, y para estimar los cambios en el ciclo del carbono (Chave, *et al.*, 2005; Henry, *et al.*, 2010, como se citó en Cortés *et al.*, (2019b, p. 2). Al contratar los resultados se puede afirmar que coincide con el modelo que mejor se ajustó para estimar la biomasa y como también la familia que muestra la mayor cantidad de biomasa.

Los resultados indican una biomasa para todo el bosque de 12 468 026,39 kg (249 360,53 kg/ha), donde la familia Fabaceae contiene la mayor cantidad con 4 450 324,15 kg (89 006,48 kg/ha), seguida de Lauraceae (2505235,97 kg; 50104,72 kg/ha) y Myristicaceae (1 443 126,32 kg; 28 862,53 kg/ha) que en conjunto hacen un total de 8 398 686,44 kg (167973,73 kg/ha) que representan el 67,36%; por otro lado las familias Meliaceae (135 939,69 kg; 2718,79 kg/ha), Chrysobalanaceae (125 077,91 kg; 2501,56 kg/ha) y Calophyllaceae (82 680,64 kg; 1653,61 kg/ha) reportan menor biomasa que en conjunto suman 343698,24 kg (6873,96 kg/ha) que constituye el 2,76%. Espíritu, (2016d, pp. 30, 31), reporta un total de 183 300 kg de biomasa aérea, de las cuales 175 620 kg están contenidas en las 15 familias más representativas del área. La familia Fabaceae, contiene la mayor cantidad de biomasa aérea con 47 890 kg, seguida de la familia Lecythydaceae, con 39 410 kg; mientras que las familias Violaceae y Lauraceae, muestran menor cantidad de biomasa aérea con 1390 kg y 400 kg, respectivamente. Del Castillo, (2016d, p. 26), reporta para las 25 especies más importantes según el modelo propuesto por Brown, *et al.*, (1989) una biomasa de 12 080 kg/ha, seguida del modelo planteado por Higuchi y Carvalho (1994) (120 kg/ha) y 333 kg/ha según el modelo sugerido por Chave, *et al.*, (2005). La biomasa arbórea puede ser estimada mediante modelos alométricos de biomasa o volumen, obtenidos por medio de análisis de regresión entre datos de biomasa o volumen obtenidos por el método destructivo y las variables alométricas colectadas en inventarios forestales (Andrade, *et al.*, 2014, como se citó en Sione *et al.*, (2020, p. 65). La discrepancia de los resultados podría estar influenciado por la edad de los bosques, tipo de bosque, zona de estudio, factores ambientales, especies, actividad antrópica, entre otras.

El valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ por familia para todo el bosque fue de USD 1 874 691,20 (37493,82 USD/ha). La familia Fabaceae, contiene el mayor valor económico de CO₂ (669 150,29 USD; 13 383,01 USD/ha), seguida de Lauraceae con 376 687,03 USD (7533,74 USD/ha) y Myristicaceae con 216 988,33 USD (4339,77 USD/ha); que juntas hacen 1 262 825,67 USD (25 256,51 USD) que representa el 67,36% del total; por otro lado las familias Meliaceae con 20 439,88 USD (408,80 USD/ha), Chrysobalanaceae con 18 806,70 USD (591,43 USD/ha) y Calophyllaceae 12431,85 USD (248,64 USD/ha) aportan menor valor económico de secuestro de CO₂ que en conjunto suman 51678,43 USD (1033,57 USD) que constituye el 2,76%. (J. J. Espíritu, 2016e, p. 35), reporta un valor económico total para toda el área de USD 1619,98, donde la familia Fabaceae, contiene el mayor valor económico de USD 422,97, seguido de la familia Lecythidaceae con USD 348,05; mientras que las familias Violaceae y Lauraceae muestran menor valor económico (USD 12,30/tCO₂ y USD 3,57/tCO₂), respectivamente. (J. J. Espíritu, 2016f, p. 67), indica que el bosque de terraza baja reporta un valor económico del secuestro de CO₂ de USD 19 771,19/ha, mientras que al bosque de colina baja le corresponde un valor económico de secuestro de CO₂ de USD 15 015,83/ha. Comprender el valor económico de la naturaleza y los servicios que brinda a la sociedad es fundamental para la política y la toma de decisiones a nivel local, nacional y mundial. Sin embargo, los métodos y herramientas económicos a menudo acompañan a otras disciplinas naturales y sociales. No tiene sentido mercantilizar por completo todos los servicios de los ecosistemas asignando valor monetario a todos los aspectos de la complejidad de los ecosistemas y no proporciona una base científica o ética precisa para la gestión sostenible (Turnert y Schaafsma, 2015, como se citó en (Miranda, 2018, p. 65). Se

encontró que las diferencias entre los diferentes valores se deben a una serie de factores, que incluyen la ubicación del bosque, la edad del bosque, la diversidad de especies, la fórmula utilizada para estimar la biomasa, la actividad antrópica, el modelo alométrico utilizado, el DAP mínimo evaluado, la fecha estimada del valor económico del secuestro de CO₂, entre otros.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES

1. Colina baja tiene 2760 árboles en su composición florística, distribuidos entre 34 especies forestales, 30 géneros y 14 familias botánicas. Las familias Fabaceae y Lauraceae, así como las especies *Parkia igneiflora* y *Aniba panurensis*, son las más representativas en cuanto al número total de árboles.
2. La ecuación alométrica dada por Higuchi y Carvalho (1994) con $R^2 = 0,88$ y SEE 16,38% es la más adecuada para estimar la biomasa individual por árbol.
3. La biomasa total es de 249 360,53 kg/ha, y las mayores contribuciones de biomasa proceden de las Fabáceas y las Lauráceas, respectivamente, con 89 006,48 kg/ha y 50 104,72 kg/ha.
4. El costo del secuestro de CO₂ es de 37 493,82 USD/ha; las familias de plantas Fabaceae y Lauraceae tienen los mayores costos con 13 383,01 USD/ha y 7533,74 USD/ha, respectivamente.
5. Se acepta la hipótesis alternativa de que hay una diferencia significativa en las medias del valor económico del servicio ambiental de secuestro de CO₂ entre las familias, dado que la prueba Chi-cuadrado arrojó un p-valor de 0,002, que es inferior a 0,05, lo que implica el rechazo de la hipótesis nula.

CAPÍTULO VII: RECOMENDACIONES

1. Se recomienda la ecuación de correlación de Higuchi y Carvalho (1994), que tiene el mayor coeficiente de determinación ($R^2 = 0,88$) y el menor error estándar estimado (SEE = 16,38%), para estimar la biomasa forestal de colina baja.
2. Para evaluar la biomasa, las reservas de carbono, el secuestro de CO₂ y el valor económico del servicio medioambiental proporcionado por el secuestro de CO₂, las personas, instituciones y organizaciones interesadas en la gestión forestal sostenible pueden utilizar los datos de este estudio como guía y apoyo.
3. Para validar la ecuación de correlación sugerida en este estudio, lleve a cabo investigaciones comparables en otros campos.

CAPÍTULO VIII: FUENTES DE INFORMACIÓN

- Álvarez, G. (2008a). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Álvarez, G. (2008b). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Álvarez, G. (2008c). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Álvarez, G. (2008d). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Álvarez, G. (2008e). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Álvarez, G. (2008f). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de

- Cochabamba, Bolivia. [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Álvarez, G. (2008g). Modelos alométricos para la estimación de biomasa aérea de dos especies nativas en plantaciones forestales del trópico de Cochabamba, Bolivia. [Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza]. <http://orton.catie.ac.cr/repdoc/A2900e/A2900e.pdf>
- Brown, S., Gillespie, A. J., & Lugo, A. E. (1989). Biomass estimation methods for tropical forests with applications to forest inventory data. *Forest Science*, 35(4), 881-902.
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., Cairns, M. A., Chambers, J. Q., Eamus, D., Fölster, H., Fromard, F., Higuchi, N., Kira, T., Lescure, J.-P., Nelson, B. W., Ogawa, H., Puig, H., Riéra, B., & Yamakura, T. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145(1), 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Cortés, B. G., Ángeles, G., De los Santos, H. M., & Maldonado, H. R. (2019a). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa en especies de Encino en Guanajuato, México. *Revista Madera y Bosques*, 25(2), 1-17.
- Cortés, B. G., Ángeles, G., De los Santos, H. M., & Maldonado, H. R. (2019b). Ecuaciones alométricas para estimar biomasa en especies de Encino en Guanajuato, México. *Revista Madera y Bosques*, 25(2), 1-17.
- Del Castillo, D. M. (2016a). Cuantificación de la biomasa aérea del arboretum "El Huayo" del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra, Iquitos, 2015. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4166>

- Del Castillo, D. M. (2016b). Cuantificación de la biomasa aérea del arboretum “El Huayo” del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra, Iquitos, 2015 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4166>
- Del Castillo, D. M. (2016c). Cuantificación de la biomasa aérea del arboretum “El Huayo” del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra, Iquitos, 2015. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4166>
- Del Castillo, D. M. (2016d). Cuantificación de la biomasa aérea del arboretum “El Huayo” del Centro de Investigación y Enseñanza Forestal Puerto Almendra, Iquitos, 2015. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana2016].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4166>
- Espíritu Aguilar, J. J. (2016). Comparación de tres ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea para su valoración económica del secuestro de CO_2 en la parcela 8 del arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos, 2015. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, 142.
- Espíritu, J. J. (2016a). Comparación de tres ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea para su valoración económica del secuestro de CO_2 en la parcela 8 del arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos, 2015. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>
- Espíritu, J. J. (2016b). Comparación de tres ecuaciones alométricas para estimar la biomasa arbórea para su valoración económica del secuestro de CO_2 en

la parcela 8 del arboretum “El Huayo” del CIEFOR Puerto Almendra, Iquitos, 2015 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].

<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>

Espíritu, J. J. (2016c). 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. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].

<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>

Espíritu, J. J. (2016d). 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 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].

<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>

Espíritu, J. J. (2016e). 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 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].

<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>

Espíritu, J. J. (2016f). 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 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].

<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4322>

Espíritu, J. M. (2021a). Valoración económica del servicio de secuestro de CO₂ en dos tipos de bosque de los ríos Cochiquinas y Yavari, Ramón Castilla

- Loreto Perú 2021. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana2015].
<https://hdl.handle.net/20.500.12737/7895>
- Espíritu, J. M. (2021b). Valoración económica del servicio de secuestro de CO₂ en dos tipos de bosque de los rios Cochiquinas y Yavari, Ramón Castilla Loreto Perú 2021. [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<https://hdl.handle.net/20.500.12737/7895>
- Frias, J. (2015). Biomasa total y stock de carbono en tres tipos de bosque en la cuenca media del río Arabela, Loreto-Perú-2014 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana].
<http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/4991>
- Gurmendi, C. G., & Orihuela, W. B. (2019). Valoración Económica de la Reserva de Carbono de Escallonia resinosa (Ruiz y Pav.) Pers. En San Pedro de Saños y Pucará [Universidad Nacional del Centro Del Perú].
<http://hdl.handle.net/20.500.12894/5320>
- Higuchi, N., & Carvalho, J. A. (1994). Fitomassa e conteúdo de carbono de espécies arbóreas da Amazônia. In: Anais do seminário Emissão por sequestro de CO₂ uma nova oportunidade de negócios para o Brasil.
- Honorio, E., & Baker, T. (2009). Memoria del Taller de análisis estadístico para apoyar el diseño de inventario de carbono. Perú. Instituto de Investigaciones de la Amazonía Peruana—Universidad de Leeds.
http://www.iiap.org.pe/Upload/Taller_CARBONO/Memoria_Taller%20carbono.pdf
- Lino, K. A. (2009a). Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuanca media del río Aguaytía,

- Ucayali, Perú. [Universidad Nacional de Ucayali].
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2118>
- Lino, K. A. (2009b). Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuanca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. [Universidad Nacional de Ucayali].
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2118>
- Lino, K. A. (2009c). Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuanca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. [Universidad Nacional de Ucayali].
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2118>
- Lino, K. A. (2009d). Determinación del stock de biomasa y carbono en las sucesiones secundarias de bolaina en la cuanca media del río Aguaytía, Ucayali, Perú. [Universidad Nacional de Ucayali].
<http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2118>
- Maza, W. F. (2019a). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador. [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/10845>
- Maza, W. F. (2019b). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura, Ecuador. [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/10845>
- Maza, W. F. (2019c). Valoración económica del servicio ambiental de secuestro de carbono para garantizar la sostenibilidad del bosque Buenaventura,

- Ecuador [Universidad Nacional Mayor de San Marcos].
<https://hdl.handle.net/20.500.12672/10845>
- Miranda, I. A. (2018). Valoración económica del servicio de secuestro de carbono aportado por la vegetación existente en el centro ecoturístico de Seccsachaca, Huancavelica, Perú-2017. [Universidad Continental].
<https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/4838>
- Mori, C. E. (2019). Biomasa y stock de carbono en un bosque de colina baja del distrito de Indiana, Loreto. 2018 [Universidad Nacional de la Amazonía Peruana]. <http://repositorio.unapiquitos.edu.pe/handle/20.500.12737/6737>
- Navarro, J., Godínez, F., López, M. A., Rosas, J. L., Juárez, A. L., & Reyes, M. (2020a). Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa* en Guerrero, México. *Madera y bosques*, 26(1), 12.
- Navarro, J., Godínez, F., López, M. A., Rosas, J. L., Juárez, A. L., & Reyes, U. M. (2020b). Ajuste de ecuaciones alométricas para estimar biomasa aérea en *Pinus oocarpa* y *Quercus resinosa* en Guerrero, México. *Madera y bosques*, 26(1), 12.
- PROFONANPE. (2007). Inventarios Forestales. Componente temático para la mesozonificación ecológica y económica de las cuencas de los ríos Pastaza y Morona.
- Quiceno, N. J., & Tangarife, G. M. (2013). Estimación del contenido de biomasa, fijación de carbono y servicios ambientales, en un área de bosque primario en el resguardo indígena Piapoco Chiguirochatare de Barrancominas, Departamento del Guainía. [Universidad de Manizales].

http://ridum.umanizales.edu.co:8080/jspui/bitstream/6789/1639/1/402_Quiceno_Urbina_Nubia_Janeth_2013.pdf

Rae y Asale. (2010). Ortografía de la lengua española (1.^a ed., Vol. 1). Espasa.

<https://www.rae.es/obras-academicas/ortografia/ortografia-2010>

Sione, S. M., Ledesma, S. G., Rosenberger, L. J., Oszust, J. D., Andrade-

Castañeda, H. J., Maciel, G. O., Wilson, M. G., & Sasal, M. C. (2020).

Ecuaciones alométricas de biomasa aérea para *Prosopis nigra* (Griseb.)

hieron. "Algarrobo negro" (fabaceae) en bosques de entre ríos (Argentina).

Agronomía & Ambiente. Revista de la Facultad de Agronomía UBA, 40(1),

63-76.

Tacco, E. A. (2019a). Valoración económica del servicio ambiental como sumidero

de carbono en la reserva forestal El Choré, del departamento de Santa

Cruz. [Universidad Mayor de San Andrés].

<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/21824>

Tacco, E. A. (2019b). Valoración económica del servicio ambiental como sumidero

de carbono en la reserva forestal El Choré, del departamento de Santa

Cruz. [Universidad Mayor de San Andrés].

<http://repositorio.umsa.bo/xmlui/handle/123456789/21824>

Torres, J. M., & Guevara, A. (2002). El potencial de México para la producción de

servicios ambientales: Captura de carbono y desempeño hidráulico.

Revista Gaceta Ecológica, 63, 40-59.

Vincent, V. (2018a). Estimación de biomasa y carbono en plantaciones de teca

(*Tectona grandis* L. f.) por método indirecto y mapeo mediante sistemas de

información geográfica. [Universidad de Guadalajara].

https://mx.boell.org/sites/default/files/uploads/2018/01/tesis_de_valdimir_vincent_maestria_en_ciencia_de_productos_forestales.pdf

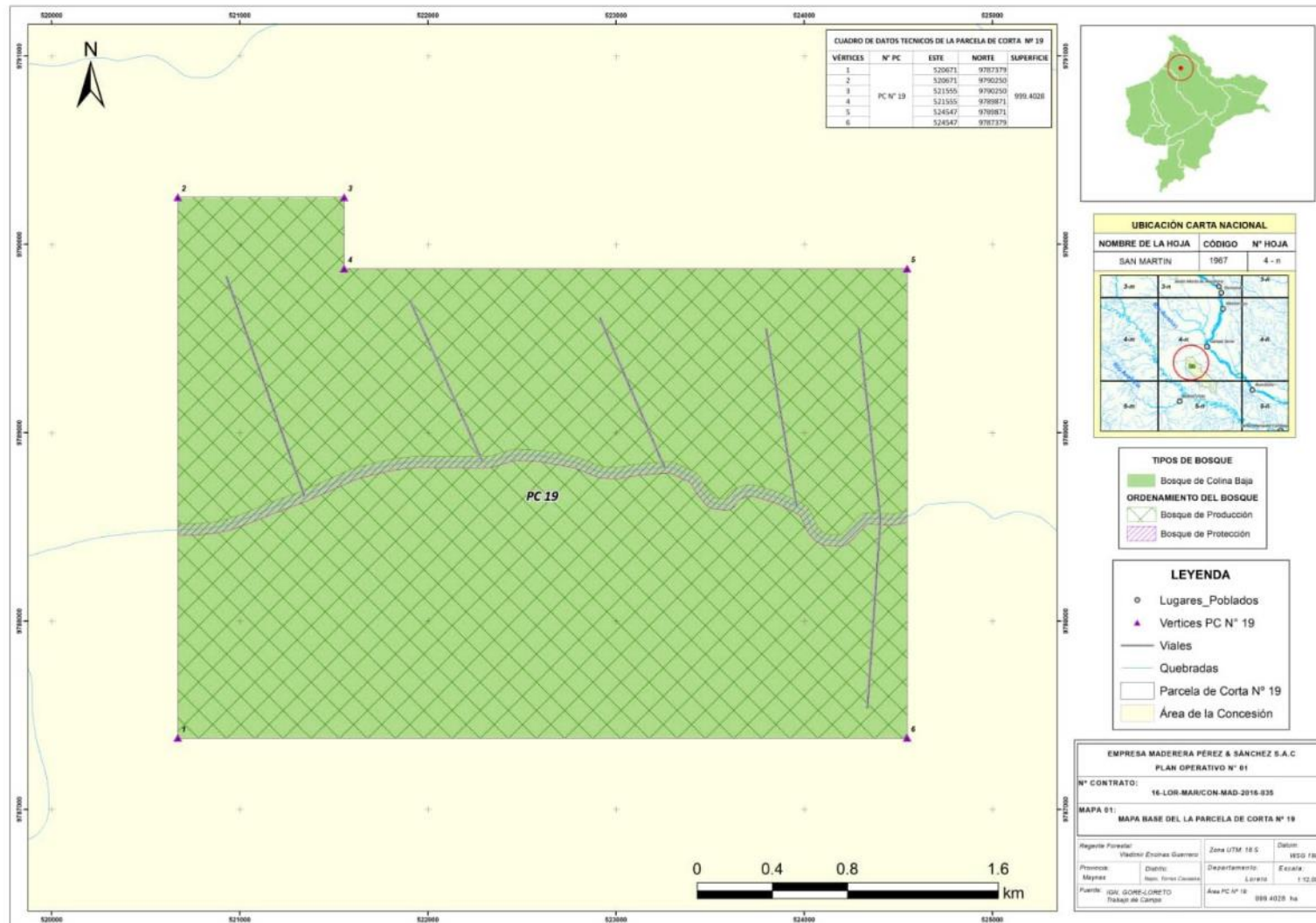
Vincent, V. (2018b). Estimación de biomasa y carbono en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) por método indirecto y mapeo mediante sistemas de información geográfica. [Universidad de Guadalajara].

https://mx.boell.org/sites/default/files/uploads/2018/01/tesis_de_valdimir_vincent_maestria_en_ciencia_de_productos_forestales.pdf

Vincent, V. (2018c). Estimación de biomasa y carbono en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L. f.) por método indirecto y mapeo mediante sistemas de información geográfica [Universidad de Guadalajara].

https://mx.boell.org/sites/default/files/uploads/2018/01/tesis_de_valdimir_vincent_maestria_en_ciencia_de_productos_forestales.pdf

ANEXOS



Anexo 1. Mapa de ubicación del área de estudio ubicado en el distrito de Torres Causana

Anexo 2. Formato para la toma de datos del censo forestal

Faja	Árbol No.	DAP (cm)	Altura comercial	Coordenadas		Observaciones
				X	Y	
1						
2						
3						

n						

Anexo 3. Formato de datos para la estimación de la biomasa y carbono almacenado

Árbol No.	DAP (cm)	Altura (m)	DB (kg/m ³)	Biomasa (kg)	Carb. alm. (tC)
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					

n					

Anexo 4. Biomasa por familia en kilogramos por hectárea según Brow, *et al.*, 1989

N°	Familia	Número de árboles	Biomasa (kg/ha)	Biomasa (kg)
1	Fabaceae	914	95314,76	4765738,23
2	Lauraceae	596	46452,96	2322647,98
3	Sapotaceae	361	27061,39	1353069,64
4	Myristicaceae	267	21790,18	1089509,02
5	Moraceae	165	15845,61	792280,67
6	Vochysiaceae	112	8423,06	421152,84
7	Lecythidaceae	105	7177,02	358850,92
8	Bignoniaceae	49	4256,73	212836,39
9	Caryocaraceae	39	4168,15	208407,58
10	Anacardiaceae	38	4063,60	203180,05
11	Burseraceae	24	3009,16	150458,20
12	Chrysobalanaceae	36	2910,90	145545,15
13	Meliaceae	35	2324,11	116205,48
14	Calophyllaceae	19	1535,44	76771,97
Total		2760	244333,08	12216654,11

Anexo 5. Biomasa por familia en kilogramos por hectárea según Chave, *et al.*, 2014

N°	Familia	Número de árboles	Biomasa (kg/ha)	Biomasa (kg)
1	Fabaceae	914	94044,20	4702209,76
2	Lauraceae	596	45446,26	2272312,77
3	Sapotaceae	361	26618,92	1330945,86
4	Myristicaceae	267	21152,46	1057623,10
5	Moraceae	165	15568,06	778403,11
6	Vochysiaceae	112	8214,74	410737,16
7	Lecythidaceae	105	7000,00	350000,08
8	Bignoniaceae	49	4169,78	208488,98
9	Caryocaraceae	39	4123,54	206176,92
10	Anacardiaceae	38	4007,42	200370,95
11	Burseraceae	24	2973,12	148655,87
12	Chrysobalanaceae	36	2851,26	142562,89
13	Meliaceae	35	2255,79	112789,37
14	Calophyllaceae	19	1496,43	74821,45
Total		2760	239921,97	11996098,27

Anexo 6. Identificación botánica de las especies forestales



Centro de Investigación de
Recursos Naturales
Herbarium Amazonense - AMAZ

INSTITUCION CIENTIFICA NACIONAL DEPOSITARIA DE MATERIAL BIOLÓGICO
CODIGO DE AUTORTIZACION AUT-ICND-2017-005

CONSTANCIA

El Coordinador del Herbarium Amazonense (AMAZ) del CIRNA, de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana

HACE CONSTAR:

Que, las muestras botánicas presentada por **JOSÉ LUIS LÓPEZ MORI**, bachiller de la Escuela de Profesional en Ecología de Bosques Tropicales, Facultad de Ciencias Forestales, de la Universidad Nacional de la Amazonia Peruana, pertenecen a la tesis titulado: "COMPARACIÓN DE TRES ECUACIONES ALOMÉTRICAS PARA ESTIMAR LA BIOMASA ARBÓREA PARA SU VALORACIÓN ECONÓMICAS DEL SECUESTRO DE CO₂, EN UN BOSQUE DE COLINA BAJA DEL DISTRITO DE TORRES CAUSANA, LORETO, 2022", han sido DETERMINADAS en este Centro de Investigación y Enseñanza, Herbarium Amazonense-AMAZ, del Centro de Investigación de Recursos Naturales de la UNAP-CIRNA-UNAP, como se indica a continuación:

N°	Nombre Común	Nombre Científico	Familia
1	Aguanillo	<i>Otoba parvifolia</i> (Markgr.) A. H. Gentry	Myristicaceae
2	Almendro colorado	<i>Caryocar amygdaliforme</i> Ruiz & Pav. ex G. Don	Caryocaraceae
3	Andiroba	<i>Carapa guianensis</i> Aubl.	Meliaceae
4	Anis moena	<i>Ocotea javitensis</i> (Kunth) Pittier	Lauraceae
5	Añuje rumo	<i>Anaueria brasiliensis</i> Kosterm.	Lauraceae
6	Azucar huayo	<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	Fabaceae
7	Caimitillo	<i>Ecclinusa lanceolata</i> (Mart. & Eichl.) Pierre	Sapotaceae
8	Canela moena	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees) Mez	Lauraceae
9	Casho	<i>Anacardium giganteum</i> Hancock ex Engl.	Anacardiaceae
10	Chontaquiro	<i>Diploptropis purpurea</i> (Rich.) Amshoff	Fabaceae
11	Copal	<i>Protium aracouchini</i> (Aubl.) Marchand	Burseraceae
12	Cumala Caupuri	<i>Virola flexuosa</i> A. C. Sm.	Myristicaceae
13	Cumala llorona	<i>Osteophloeum platyspermum</i> (A. DC.) Warb.	Myristicaceae
14	Guariuba	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	Moraceae
15	Huayruro	<i>Ormosia amazonica</i> Ducke	Fabaceae
16	Lagarto caspi	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	Calophyllaceae
17	Loro micuna	<i>Helicostylis tomentosa</i> (Poepp. & Endl.) Rusby	Moraceae
18	Machimango	<i>Eschweilera coriacea</i> (A. DC.) S. A. Mori	Lecythidaceae
19	Mari mari	<i>Hymenolobium excelsum</i> Ducke	Fabaceae
20	Moena	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	Lauraceae
21	Palisangre	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	Moraceae
22	Palta moena	<i>Caryodaphnopsis inaequalis</i> (A. C. Sm.) van der Werff & H. G. Richt.	Lauraceae
23	Papelillo	<i>Cariniana pyriformis</i> Miers	Lecythidaceae

Continúa...

N°	Nombre Común	Nombre Científico	Familia
24	Parinari	<i>Couepia paraensis</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	Chrysobalanaceae
25	Pashaco	<i>Parkia igneiflora</i> Ducke	Fabaceae
26	Quillosa	<i>Vochysia vismiifolia</i> Spruce ex Warm.	Vochysiaceae
27	Quinilla	<i>Chrysophyllum prieurii</i> A. DC.	Sapotaceae
28	Requia	<i>Guarea glabra</i> M. Vahl	Meliaceae
29	Shihuahuaco	<i>Dipteryx micrantha</i> Harms	Fabaceae
30	Shimbillo	<i>Inga pezizifera</i> Benth.	Fabaceae
31	Shiringa	<i>Hevea guianensis</i> Aubl.	Euphorbiaceae
32	Tahuari	<i>Handroanthus serratifolius</i> (Vahl) S.O.Grose	Bignoniaceae
33	Tangarana de altura	<i>Tachigali cavipes</i> (Spruce ex Benth.) J.F. Macbr.	Fabaceae
34	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	Fabaceae

Se expide la presente constancia al interesado, para los fines que estimen conveniente.

Atentamente,

Iquitos, 24 de noviembre del 2022



Richard J. Huamancá Acostupa
Coordinador Herbarium Amazonense



Anexo 7. Constancia de uso de base de datos

MADERERA PEREZ & SANCHEZ S.A.C

JOSE HECTOR PEREZ TORRES

CELULAR: 942657951

16-LOR-MAR/CON-MAD-2016-035

RUC: 20528127984

AV. La Marina N° 157, Mz A, LT-6/Punchana

Loreto-Maynas

CONSTANCIA

Mediante el presente documento, el señor, **JOSE HECTOR PEREZ TORRES**, gerente general de la empresa **MADERERA PEREZ & SANCHEZ**, autoriza al Bachiller de la Escuela de Ingeniería en Ecología de Bosques Tropicales, **JOSE LUIS LOPEZ MORI**, con **DNI N° 73231403**, utilizar para su trabajo de investigación los datos del Censo forestal del Contrato N°16-LOR-MAR/CON-MAD-2016-035, ubicado en la Cuenca del Rio Napo, Región Loreto, realizado en el año 2021.

Se expide el presente documento a solicitud del interesado para los fines que estime conveniente.

Iquitos, 15 de Mayo del 2022

MADERERA PEREZ & SANCHEZ S.A.C.

JOSE HECTOR PEREZ TORRES
GERENTE GENERAL
DNI: 33675897

JOSE HECTOR PEREZ TORRES
DNI° 33675897
Gerente General.