



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

**DETERMINACIÓN DE UNA FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO
PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN PLANTACIONES DE
Gmelina arborea, DE LA EMPRESA ARBORIENTE S.A. CANTÓN
LORETO, PROVINCIA DE ORELLANA**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO FORESTAL

AUTOR: BRYAN ALVARO PANTOJA CUASPUD

DIRECTOR: Ing. EDUARDO PATRICIO SALAZAR CASTAÑEDA

Riobamba – Ecuador

2023

© 2023, Bryan Alvaro Pantoja Cuaspud

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, BRYAN ALVARO PANTOJA CUASPUD, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 15 de febrero del 2023



Bryan Alvaro Pantoja Cuaspud.
230070343-2

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA INGENIERÍA FORESTAL

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DE UNA FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO PARA CÁLCULO DE VOLUMEN EN PLANTACIONES DE *Gmelina arborea*, DE LA EMPRESA ARBORIENTE S.A. CANTÓN LORETO, PROVINCIA DE ORELLANA**, realizado por el señor: **BRYAN ALVARO PANTOJA CUASPUD**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	FIRMA	FECHA
Ing. Miguel Ángel Guallpa Calva, MSc. PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2023-02-15
Ing. Eduardo Patricio Salazar Castañeda, MSc. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2023-02-15
Ing. Vilma Fernanda Noboa Silva, MSc. MIEMBRO DEL TRIBUNAL		2023-02-15

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de integración curricular de manera especial a mis padres por su amor incondicional y sus consejos que me han enseñado a superar las adversidades, por ayudar en mi formación personal y académica, por ayudarme con los recursos económicos necesarios, por inculcarme principios, valores, perseverancia y porque me han ensañado a crecer como persona. A mis hermanos por su cariño y apoyo en todo momento para lograr con mis objetivos. A mi hija por ser mi alegría y fuerza para lograr mis metas, y por darme el coraje para conseguir mis objetivos.

Bryan

AGRADECIMIENTO

A mi madre que ha sido un pilar fundamental y una guía en el transcurso de mi vida, a mi familia que me han dado su apoyo y comprensión en cada paso transcurrido para lograr mis metas, de manera especial a mi hija por impulsarme y motivarme a lograr todos mis objetivos. Al ing. Eduardo Salazar, Ing. Vilma Noboa, director y miembro de mi trabajo de integración curricular, por todo su apoyo para la elaboración y culminación de mi trabajo de titulación. Al Sr. Alex Carranza por toda su predisposición y conocimientos compartidos en el trabajo de campo. A la empresa Arboriente S.A, y a todo su grupo de trabajadores pertenecientes al área forestal por brindarme su tiempo y ayuda para lograr culminar este trabajo. De manera especial al Ing. Marco Gutiérrez y al Ing. Ángel Jumbo por permitirme realizar este trabajo de titulación en la empresa. También a los docentes que han formado parte de mi formación académica, por sus conocimientos y experiencias compartidas.

Bryan

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Planteamiento del problema.....	3
1.2. Objetivos.....	3
1.2.1. <i>General</i>	3
1.2.2. <i>Específico</i>	3
1.3. Justificación.....	3
1.4. Hipótesis.....	4
1.4.1. <i>Nula</i>	4
1.4.2. <i>Alternante</i>	4

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. Plantaciones comerciales.....	5
2.2. Descripción de la especie <i>Gmelina arborea</i>	5
2.2.1. <i>Descripción taxonómica</i>	5
2.2.2. <i>Descripción dendrológico</i>	6
2.2.3. <i>Ecología</i>	6
2.2.4. <i>Distribución natural</i>	6
2.2.5. <i>Gmelina arborea en países tropicales</i>	7
2.2.6. <i>Sitios de óptimos de desarrollo</i>	7
2.2.7. <i>Requerimientos ambientales</i>	7
2.2.8. <i>Topografía y suelos</i>	8
2.3. Mensura forestal.....	8
2.3.1. <i>Dasometría</i>	8

2.3.1.1.	<i>Dendrometría</i>	8
2.3.1.2.	<i>Estereometría</i>	8
2.3.1.3.	<i>Epidometría</i>	9
2.3.2.	Medición de árboles individuales	9
2.3.2.1.	<i>Medición de diámetro</i>	9
2.3.2.2.	<i>Medición de altura</i>	9
2.3.2.3.	<i>Medición de corteza</i>	10
2.4.	Función de ahusamiento	10
2.4.1.	<i>Tipo de funciones de ahusamiento</i>	11
2.4.2.	<i>VARIABLES DE UNA FUNCIÓN DE AHUSAMIENTO</i>	11
2.4.2.1.	<i>VARIABLES DEPENDIENTES</i>	11
2.4.2.2.	<i>VARIABLES INDEPENDIENTES</i>	11
2.4.3.	<i>Características apropiadas del modelo fustal</i>	12
2.4.4.	<i>Compatibilidad de funciones de ahusamiento y volumen</i>	12
2.5.	Volumen de la madera	13
2.5.1.	<i>Definición</i>	13
2.5.1.1.	<i>Cubicación de trozas</i>	13
2.6.	Programas estadísticos	13
2.6.1.	R	13
2.6.1.1.	<i>RStudio</i>	13
2.6.2.	JMP	14

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	15
3.1.	Caracterización del Lugar	15
3.1.1.	<i>Localización</i>	15
3.1.2.	<i>Ubicación Geográfica</i>	16
3.1.3.	<i>Condiciones climáticas</i>	16
3.1.4.	<i>Clasificación ecológica</i>	16
3.2.	Materiales y equipos	16
3.2.1.	<i>Materiales de campo</i>	16
3.2.2.	<i>Materiales de oficina</i>	16
3.3.	Metodología	17
3.3.1.	<i>Para cumplir con el primer objetivo: Establecer el programa estadístico ajustado a las funciones de ahusamiento.</i>	17

3.3.2.	<i>Para cumplir con el segundo objetivo: Evaluar el comportamiento de la función de ahusamiento desarrollada respecto a su capacidad para predecir diámetros fustales y volúmenes comerciales.</i>	21
--------	--	----

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	22
4.1.	Estimación de los parámetros para las funciones de ahusamiento	22
4.2.	Programa estadístico ajustado a las funciones de ahusamiento	22
4.3.	Modelos de estimación	24
4.4.	Bondad de ajuste de los sistemas	26
4.4.1.	<i>Ahusamiento</i>	26
4.5.	Bondad de ajuste de los sistemas de volumen comercial y total	27
4.5.1.	<i>Volumen comercial</i>	27
4.5.2.	<i>Volumen total</i>	28
4.6.	Resumen de calificación de funciones	28
4.7.	Comportamiento de las funciones de ahusamiento respecto a la capacidad de predecir diámetros fustales y volúmenes.	29
4.7.1.	<i>Ahusamiento</i>	29
4.7.2.	<i>Volumen comercial</i>	30
4.7.3.	<i>Volumen total</i>	31
4.8.	Discusión	32
	CONCLUSIONES	34
	RECOMENDACIONES	35
	GLOSARIO	
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-2:	Clasificación taxonómica de <i>Gmelina arborea</i> Roxb.	5
Tabla 2-2:	Necesidades ambientales para buen crecimiento de <i>Gmelina arborea</i>	7
Tabla 1-3:	Ubicación geográfica del área de estudio	16
Tabla 2-3:	Modelos de ahusamiento y volumen seleccionados.	19
Tabla 3-3:	Indicadores estadísticos para la bondad de ajuste.	20
Tabla 1-4:	Valores estadísticos descriptivos para <i>Gmelina arborea</i>	22
Tabla 2-4:	Valores de R ² obtenidos en JMP y Rstudio.....	23
Tabla 3-4:	Parámetros obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles para <i>Gmelina arborea</i> con corteza.....	24
Tabla 4-4:	Parámetros obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles para <i>Gmelina arborea</i> sin corteza.....	25
Tabla 5-4:	Estadístico de bondad de ajuste para modelos de ahusamiento para <i>Gmelina arborea</i>	26
Tabla 6-4:	Estadístico de bondad de ajuste para modelos de volumen comercial y total para <i>Gmelina arborea</i>	27
Tabla 7-4:	Estadístico de bondad de ajuste para modelos de volumen total para <i>Gmelina arborea</i>	28
Tabla 8-4:	Calificación final de las funciones evaluadas.....	29

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1-2:	Área de estudio, ubicación de lotes de muestreo.....	15
Ilustración 1-3:	Área de estudio, ubicación de lotes de muestreo.....	15
Ilustración 1-4:	Comportamiento de las tres funciones de ahusamiento con corteza sobrepuesta al perfil fustal de <i>Gmelina arborea</i>	29
Ilustración 2-4:	Comportamiento de las tres funciones ahusamiento sin corteza sobrepuesta al perfil fustal de <i>Gmelina arborea</i>	30
Ilustración 3-4:	Comportamiento de las tres funciones de volumen comercial con corteza sobrepuesta a los datos de volumen comercial de <i>Gmelina arborea</i>	30
Ilustración 4-4:	Comportamiento de las tres funciones de volumen comercial sin corteza sobrepuesta a los datos de volumen comercial de <i>Gmelina arborea</i>	31
Ilustración 5-4:	Comportamiento de las tres funciones de volumen total con corteza sobrepuesta a los datos de volúmenes totales de <i>Gmelina arborea</i>	31
Ilustración 6-4:	Comportamiento de la función Cruz de volumen total sin corteza sobrepuestas a los datos de volúmenes totales de <i>Gmelina arborea</i>	32

ÍNDICE DE ANEXOS

- ANEXO A:** LABORES REALIZADAS EN CAMPO
- ANEXO B:** DATOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES PARAMETROS
- ANEXO C:** BASE DE DATOS INGRESADA A R
- ANEXO D:** VOLUMEN COMERCIAL CON CORTEZA POR SECCIÓN
- ANEXO E:** VOLUMEN COMERCIAL SIN CORTEZA POR SECCIÓN
- ANEXO F:** VOLUMEN TOTAL CON CORTEZA POR SECCIÓN
- ANEXO G:** VOLUMEN TOTAL SIN CORTEZA POR SECCIÓN
- ANEXO H:** AHUSAMIENTO CON CORTEZA
- ANEXO I:** AHUSAMIENTO SIN CORTEZA
- ANEXO J:** VOLUMEN COMERCIAL CON CORTEZA
- ANEXO K:** SIN CORTEZA VOLUMEN COMERCIAL
- ANEXO L:** VOLUMEN TOTAL CON CORTEZA
- ANEXO M:** VOLUMEN TOTAL SIN CORTEZA

RESUMEN

La presente investigación propuso: Determinar una función de ahusamiento para el cálculo de volumen en plantaciones de *Gmelina arborea*, perteneciente a la empresa ARBORIENTE S.A., cantón Loreto, provincia de Orellana; para estimar el diámetro a diferentes alturas del fuste, el volumen comercial y total se utilizaron diversas variables. Se cortaron y midieron 36 árboles; para la cubicación se utilizó el método de trozas traslapadas para obtener volúmenes totales y parciales de manera más precisa. Las bases de datos creadas en Excel se utilizaron para ajustar 3 modelos compatibles de ahusamiento y volumen con y sin corteza respectivamente. se evaluó en los programas Rstudio y JMP para determinar cuál de estos sería el óptimo para ajustar las funciones de ahusamiento Para el ajuste de las funciones se utilizaron 1935 pares de datos de diámetro con y sin corteza, largo de sección, altura total. Las funciones fueron ajustadas mediante la estimación simultánea a partir de la información completa de mínimos cuadrados ordinarios (MCO), en regresión lineal y no lineal. Las pruebas de bondad de ajuste consistieron en comparar los estadísticos; raíz del cuadrado medio del error (REMC), Coeficiente de determinación (R cuadrado), el sesgo medio del error (E), criterio de información de Akaike (AIC). Se analizaron los resultados obtenidos de la regresión, se determinó Rstudio para, evaluar el comportamiento de cada función de ahusamiento desarrollada para predecir diámetros fustales, volumen comercial y total. Los resultados mostraron que los modelos que mejor predicen el perfil diamétrico y el volumen fueron los modelos Cielito 1 y Cielito 2 con y sin corteza, respectivamente con un valor de R cuadrado de 0,99999. Se recomendó realizar este estudio en diferentes zonas del Ecuador y realizar estudios complementarios con el uso de los datos obtenidos.

Palabras clave: <AHUSAMIENTO>, <AHUSAMIENTO EN *Gmelina arborea*>, <VOLUMEN-AHUSAMIENTO>, <PLANTACIONES FORESTALES>, <PLANTACIONES DE *Gmelina*>.



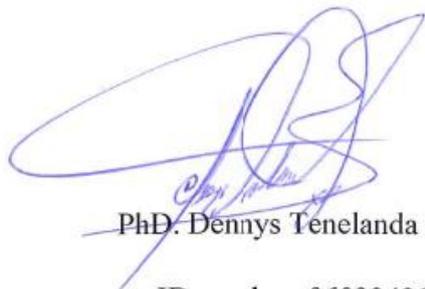
0398-DBRA-UPT-2023

ABSTRACT

This research aimed to determine a taper function for the calculation of volume in *Gmelina arborea* plantations, belonging to the company ARBORIENTE S.A., in Loreto town, Orellana province. Various variables were used to estimate the diameter at different heights of the stem, the commercial and total volume. 36 trees were cut and measured. The method of overlapping logs was used to obtain total and partial volumes more accurately for the cubing. The databases created in Excel were used to fit 3 compatible models of taper and volume with and without cortex, respectively. Rstudio and JMP programs were used to determine which of these would be optimal for adjusting the taper functions. For the adjustment of the functions, 1935 pairs of data of diameter with and without bark, section length, total height were used. The functions were fitted by means of simultaneous estimation from the complete information of ordinary least squares (OLS), in linear and non-linear regression. The goodness-of-fit tests consisted of comparing the statistics were Root Mean Squared Error (RMSE), Coefficient of Determination (R squared), Bias Mean Error (E), Akaike Information Criterion (AIC). The results obtained from the regression were analyzed. Rstudio was determined to evaluate the behavior of each taper function developed to predict stem diameters, commercial and total volume. The results showed that the models that best predict the diameter profile and volume were the Cielito 1 and Cielito 2 models with and without bark, respectively, with an R-squared value of 0.99999. It was recommended to carry out this study in different areas of Ecuador and carry out complementary studies with the use of the data obtained.

Keywords: <TAPERING>, <TAPERING IN *Gmelina arborea*>, <VOLUME-TAPERING>, <FOREST PLANTATIONS>, <*Gmelina* PLANTATIONS>.

Riobamba, March 1st, 2023



PhD. Dennys Tenelanda López
ID number: 0603342189

INTRODUCCIÓN

El Ecuador gracias a sus condiciones climáticas, así como su posición geográfica lo hacen apto para un el establecimiento de diferentes plantaciones forestales comerciales. Las plantaciones forestales han sido de gran ayuda al país y al mundo para reducir el ingreso a los bosques, brindando ayuda al desarrollo social, ambiental y económico. Actualmente se avanzó mucho en materia de plantaciones forestales, se encuentran plantaciones de especies como variedades de pinos en la sierra y especies como melina, laurel, balsa, jacaranda, entre otras, en la costa y amazonía (Mejía, 2013, p.1; Espinoza, 2014, p.2).

La especie *Gmelina arborea* (melina) originaria del continente asiático, es una importante fuente de madera para las regiones tropicales y subtropicales, es una especie que presenta un alto índice de crecimiento en comparación con las especies nativas maderables presentes en nuestro país, además, de presentar una facilidad de adaptación en la costa y amazonía con características singulares que permiten la aplicación de diferentes tipos e intensidades de manejo (Mejía, 2013, p.1).

ARBORIENTE S.A. es una empresa dedicada a la elaboración y comercialización de tableros contrachapados, teniendo en su patrimonio de 1560.86 hectáreas 218 hectáreas de plantaciones de *Gmelina arborea*.

El perfil fustal o ahusamiento de un árbol mediante una expresión matemática resulta útil cuando se está interesado en cuantificar secciones del fuste, si es posible construir una función flexible y que se adapte bien a la forma fustal del o los árboles que se quiere estimar, se dispone de una poderosa herramienta de cuantificación dendrométrica (Corvalán y Hernández, 2008, pp.1-4).

Pérez (2020, p.1), manifiesta que en las últimas décadas se desarrollaron diversas funciones de ahusamiento que hacen posible describir la forma del fuste, calcular la altura comercial, estimar el volumen total y comercial, además del volumen por troza e individual por árbol. Por otro lado, Mussetta y Barriendo (2015, pp.8-16), menciona que las prácticas intensivas y la diversidad del uso de la madera que existe actualmente requiere de funciones de alta consistencia, versatilidad para obtener una estimación más real del volumen comercial, que nos ayude a la toma de decisiones acertadas.

Antecedentes

Quirós (2015, pp.29-45) menciona que existen escasos estudios para modelos fustales o ahusamiento para la especie *Gmelina arborea* a nivel internacional. En su estudio realizó una función para la

estimación de volumen comercial de una plantación clonal de 3 años, modelo de perfil de fuste y un sistema de clasificación de crecimiento de plantaciones clonales de *Gmelina arborea* obteniendo que el modelo de Kozak tuvo un buen ajuste para la especie, ya que obtuvo un ajuste de $R^2 = 0,9527$, sin embargo, mostró un sesgo de -17 % (sobrestimación de valores) en el análisis de comprobación.

Además, Alo et al. (2011, pp.120-127) en su estudio realizado en Nigeria con plantaciones de *Gmelina arborea* desarrollaron ecuaciones de ahusamiento usando polinomios de orden dos para cinco clases de diámetro y cuatro series de edad que fueron 11, 16, 21 y 26 años, estas funciones se consideraron satisfactorias según diversos criterios analizados en su estudio, también determinaron que los modelos analizados pueden usarse para el área analizada en este estudio y para ecosistemas similares.

Pérez (2004, p.7-21) realizó el estudio de la compatibilidad de funciones de volumen y ahusamiento para renovalos de Roble en la décima región de Chile, analizando modelos de Demaerschalk (1972, pp.241-245), a) Ecuación de Honer (1965) y b) ecuación de volumen área basal en función de la altura, ajustados para las zonas 1, 2 y 3. En este estudio determinó que los modelos de volumen y ahusamiento utilizados en las zonas analizadas no cumplieron con los requisitos en de error y sesgo permitidos mostrando estimaciones deficientes sin embargo el modelo 2 fue el más destacado.

Así mismo Pérez (2020, p.55-56) determinó una función de ahusamiento para el cálculo de volumen en plantaciones de *Pinus patula* pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A. en Ecuador, en la provincia de Cotopaxi, mediante la utilización de diversas variables realizó el ajuste de tres modelos compatibles de ahusamiento y volumen con corteza y sin corteza (Cielito 1, Cielito 2 y Cruz) determinando que el modelo que predice mejor el volumen y el perfil diamétrico con y sin corteza para la especie fue el modelo de Cielito 1.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1. Planteamiento del problema

En la actualidad la empresa ARBORIENTE S.A., no cuenta con una metodología para la estimación confiable del volumen de madera que se extrae de las plantaciones. El factor de forma que es utilizado por la industria en general estima el volumen con un índice de error considerable, además, de no utilizar la forma del fuste en específico para la especie.

1.2. Objetivos

1.2.1. General

Determinar una función de ahusamiento para el cálculo de volumen en plantaciones de *Gmelina arborea*, pertenecientes a la empresa ARBORIENTE S.A., cantón Loreto, provincia de Orellana.

1.2.2. Específico

Establecer el programa estadístico ajustado a las funciones de ahusamiento.

Evaluar el comportamiento de la función de ahusamiento desarrollada respecto a su capacidad para predecir diámetros fustales y volumen comercial.

1.3. Justificación

En el Ecuador no se han realizado investigaciones biométricas relacionadas con la predicción de volumen en la mayoría de las especies comerciales que existen, se puede evidenciar que a lo largo del tiempo los estudios relacionados con estas predicciones en muchos casos sobrestiman la producción de madera provocando incertidumbre durante la planificación forestal dificultando la toma de decisiones.

Por este motivo, la finalidad del presente trabajo de investigación es buscar una función de ahusamiento compatible para la especie *Gmelina arborea*, que aportará beneficios económicos en la producción forestal de la empresa ARBORIENTE S.A., la cual no cuenta con un sistema

local de cubicación en pie, que optimice el cálculo de la distribución de los productos del arbolado para el inventario forestal maderable, previo a su industrialización.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Nula

La función de ahusamiento no es derivable y por lo tanto no es posible el cálculo de volumen comercial compatible para las plantaciones de *Gmelina arborea*

1.4.2. Alternante

La función de ahusamiento es derivable, y por lo tanto es posible el cálculo de volumen comercial compatible para plantaciones de *Gmelina arborea*

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Plantaciones comerciales

En el Ecuador debido a que posee una gran variedad de climas y una riqueza biológica reflejada en toda su gama de organismos como plantas vasculares, diversidad de anfibios, aves, entre otras que coexisten entre si permite el desarrollo de diferentes especies forestales tanto nativas como exóticas. En la región sierra se observa principalmente especies como el eucalipto y el pino; en la costa predominan árboles de balsa, teca, además de maderas tropicales como el cedro o palo de rosa y en la Amazonía se observa que prevalece el cultivo de árboles en sistemas agroforestales en combinaciones como Gmelina y maíz (Sánchez y Reyes, 2015, pp.41-54).

Las plantaciones forestales comerciales constituyen una opción importante en el mundo ya que son significativos para la economía de los países además de ser una opción para disminuir la presión sobre el aprovechamiento del bosque. Las plantaciones de *Gmelina arborea* son rentables económicamente debido a que son resistentes a plagas y enfermedades además de ser un cultivo de rápido crecimiento (Ecuador forestal, 2007, pp.10-12).

Las plantaciones forestales en el Ecuador están destinadas a proporcionar productos primarios como madera para puntales, madera de desenrollado y pasta de madera para la producción de productos semielaborados como tableros, contrachapados, MDF; astillas de eucalipto que se utiliza para la elaboración de pulpa, además de producción de madera para productos más elaborados como muebles, molduras decorativas, marcos, puertas, pisos y ventanas (Sánchez y Reyes, 2015, p.47).

2.2. Descripción de la especie *Gmelina arborea*

2.2.1. Descripción taxonómica

Tabla 1-2: Clasificación taxonómica de *Gmelina arborea* Roxb.

CLASE	Equisetopsida
SUBCLASE	Magnoliidae
ORDEN	Lamiales
FAMILIA	Lamiaceae
GÉNERO	<i>Gmelina</i>
ESPECIE	<i>arborea</i>

Fuente: trópicos.org

2.2.2. Descripción dendrológico

Según Jiménez (2016, p.24), *Gmelina arborea* es una especie caracterizada por su rápido crecimiento, oportunista en los bosques húmedos, es una pionera de vida larga y tiene un alto potencial para generar rebrotes. Posee una copa amplia en sitios abiertos, en plantaciones su copa es densa y compacta, su corteza es liza o escamosa de color marrón pálido a grisáceo, en árboles de 6 a 8 años se exfolia en la parte engrosada de la base del tronco, tiene un sistema radical profundo, aunque pueden ser superficiales en suelos con limitaciones de profundidad, su fuste es marcadamente cónico de aproximadamente 5 a 18 centímetros de ancho, aunque en ocasiones llega a medir 143 centímetros.

Sus hojas son grandes de aproximadamente 10 a 20 centímetros de largo y 5 a 18 centímetros de ancho, son simples, opuestas, enteras, dentadas usualmente acorazonadas, con el haz de color verde y graba, y el envés de color pálido y aterciopelado, nerviación reticular, con nervios secundarios entre 3 y 6 pares con estípula ausente (Rojas et al, 2004, p.190). Sus flores son de color amarillo anaranjado, inflorescencia en un racimo o panícula cimosa terminal, cáliz tubular, colora con 4 a 5 sépalos soldados a la base del ovario, cáliz de 2,5 cm de largo y 4 estambres. Su fruto es carnoso tipo drupa, de forma ovoide u oblonga, succulento. Esta especie presenta una semilla formando parte del endocarpo del fruto, de forma elipsoidal, comprimidas de 7 a 9 mm de largo (Jiménez, 2016, p.25).

2.2.3. Ecología

Esta especie es nativa de bosques húmedos tropicales del sureste asiático, en especial la India en el sub Himalaya, lo podemos encontrar en el este y Sur de la India, ha sido cultivado en países del cinturón tropical. Se cultiva en zonas de bosques húmedos y muy húmedos de la región tropical como también en bosques húmedos montano bajo en la región subtropical (Rizzo, 2006; Jiménez, 2016, p.23).

2.2.4. Distribución natural

Gmelina arborea se desarrolla en hábitat que varía de húmedos a secos. Se encuentra en forma natural principalmente en selvas mixtas de Birmania, se puede encontrar en cultivos mixtos con *Terminalia tomentosa*, *Tectona grandis* y entre otras especies latifoliadas y bambúes. Su desarrollo óptimo lo alcanza en los bosques más húmedos de Birmania, con altitudes de 1200 m (Jiménez, 2016, p.23).

2.2.5. *Gmelina arborea* en países tropicales

Gmelina arborea es una especie que se ha introducido en países tropicales adaptándose a una amplia gama de climas y dando buenos resultados. En América latina la especie se ha plantado en países como Costa Rica, Brasil, Venezuela, Guatemala, entre otros. En Guatemala las plantaciones más importantes de esta especie pertenecen a la compañía Simpson, la cual produce para obtener viruta para pulpa, aunque también desean diversificarse obteniendo trozas para aserrío (Rojas, et al., 2004, p.121)

2.2.6. *Sitios de óptimos de desarrollo*

Los sitios óptimos para el desarrollo de esta especie se encuentran en las partes bajas de los terrenos, donde hay mejor disponibilidad de nutrientes y agua, y en sitios con alto contenidos de calcio y magnesio (Jiménez, 2016, p.131).

Las plantaciones de *Gmelina* no prosperan en suelos demasiados erosionados o compactados, de topografía quebrada y muy superficiales, en esos sitios de árboles muestran características indeseables como fustes torcidos, poca altura, muy ramificados y aspectos arbustivos, por esta razón, se sugiere plantar esta especie en suelos profundos, húmedos, pero bien drenados y sin obstáculos de desarrollo vertical (Jiménez, 2016, p.131).

2.2.7. *Requerimientos ambientales*

Tabla 2-2: Necesidades ambientales para buen crecimiento de *Gmelina arborea*

Parámetro ambiental	Ámbito
Distribución altitudinal	0-900 (100-500) msnm
Precipitación	1000-4000 (2000-2500) mm
Temperatura	18-38 (24-29) °C
Régimen de lluvia	8-9 meses de lluvia con 3-4 meses seco
Zonas de vida	Bosque seco tropical, bosque húmedo muy húmedo tropical
Textura de suelos	Franco y franco arcilloso no crecen bien en suelos arcillosos pH de suelos 5-6
Pendientes del terreno	No superiores a 30%
Profundidad efectiva de suelos (cm)	Mínima de 60, óptima de más de 100
Fertilidad	Prefiere suelos fértiles
Resistencia a vientos	Es una especie intolerante a vientos fuertes
Humedad del suelo	No soporta suelos inundados, ni en forma temporal

Fuente: Chavarria y Valeria, 1993, p.202; Webb, 1993, p.94.

2.2.8. Topografía y suelos

Jiménez (2016, p.154) menciona que los cultivos de esta especie *Gmelina arborea*, en suelos profundos, húmedos y bien drenados sin obstáculos de crecimiento radica, aunque se ha reportado crecimientos en condiciones no favorables esto se debe a su alta capacidad de crecimiento inicial.

Los contenidos de calcio y magnesio óptimos son 10 y 6 ml equivalentes por 100 ml de suelo en el primer horizonte y el pH se debe encontrar entre 5 y 6. Topográficamente los terrenos no deben superar el 30% de pendiente sin pedregosidad y profundidad efectiva de 60 a 100 cm (Rojas, et al., Jiménez, 2016, p.155).

2.3. Mensura forestal

Según Maldonado (2018), la mensura forestal es un conjunto de técnicas y metodologías que nos ayudan a resolver todos los aspectos de problemas de medición de las ciencias forestales. Drake, et al. (2003, p.17), menciona que se estudia la cuantificación menciona que estudia la cuantificación de bosque, árboles y productos forestales distinguiendo las técnicas de medición directa, indirecta o estimaciones, con un fuerte componente matemático y estadístico.

2.3.1. Dasometría

Es la ciencia que se ocupa de la determinación del volumen, el crecimiento de los árboles y de masas forestales, además de estudiar las relaciones métricas y leyes que rigen su desarrollo. También se la define como aquella que estudia los aspectos relacionados con la estimación métrica y cubicación (Juárez, 2014, p.2; Diéguez, 2005, p.1).

2.3.1.1. Dendrometría

Es aquella que estudia la medición del árbol con un enfoque estadístico, esta medición incluye técnicas de los distintos componentes del árbol como diámetro, altura, corteza, copa, entre otros, ya sea en pie o apeado (Juárez, 2014, p.2).

2.3.1.2. Estereometría

Estudia la medición de masas forestales desde un enfoque estático, observando las poblaciones que conviven en un espacio común (Juárez, 2014, p.2).

2.3.1.3. *Epidometría*

Estudia la medición del crecimiento de masas forestales incluyendo la definición y cálculo de los distintos conceptos de crecimiento y producción (Juárez, 2014, p.2).

2.3.2. *Medición de árboles individuales*

2.3.2.1. *Medición de diámetro*

En la estructura del árbol, el fuste es el órgano que se encuentra accesible para su evaluación lo que lo convierte en una de las mediciones más importantes, puesto que a través del diámetro se pueden conocer las características del bosque. En base a él se puede obtener otros parámetros importantes para la evaluación forestal como volumen, diámetro de copa, crecimiento, entre otros (Bosque Natural, 2011).

Para su medición se ha denominado una altura estándar, de acuerdo con la región del mundo, varía la medición del diámetro a la altura del pecho o DAP, para Europa, Canadá, Reino Unido, Australia, entre otros países, el DAP se mide a una altura de 1,30 m desde el nivel del suelo, a diferencia de Estados Unidos la medición se realiza a 4,5 pies, aproximadamente 1,37 m de altura (Cancino, 2012, p. 26).

Si el terreno es plano y el árbol es recto el DAP se mide a 1,30 m con respecto al suelo, pero la altura de medición puede variar por presencia de anomalías como bifurcaciones, contrafuertes basales, y otros defectos del fuste y por la inclinación del terreno (Juárez, 2014, p.16).

2.3.2.2. *Medición de altura*

Cancino (2012, p.27), menciona que la altura se define como la longitud de la línea recta que va desde el suelo hasta algún punto en el árbol. Según sea la posición del punto se definen alturas diferentes.

Según Juárez (2014, p.23) las alturas que se miden con mayor frecuencia son:

Altura total: Es la distancia vertical entre el suelo y el ápice del árbol.

Altura de fuste: Es la distancia vertical entre el suelo y la base de la copa.

Altura de copa: La diferencia de altura entre la altura total y la altura de fuste.

Altura comercial: Parte del fuste económicamente aprovechable que corresponde a la sección entre la altura de corte y el diámetro mínimo comercial.

Altura del tocó: Es la distancia entre la superficie del suelo y el corte de aprovechamiento.

- Instrumentos de medición

Para estimar la medición de la altura existe varios instrumentos forestales entre los que son más utilizados están los denominados hipsómetros, estos instrumentos mediante una escala de medición y situándose en una distancia conocida del árbol se logra visualizar el ápice de la copa y la base del árbol, obteniéndose la altura del árbol (Bosque sin fronteras, 2011).

Hipsómetro de SUUNTO: Según Bosque sin fronteras (2011), es un instrumento finlandés, es una pequeña caja metálica que dentro existe un cilindro con dos escalas visibles a través de un visor y que permite medir la altura del árbol desde una distancia fija de 15 a 20 metros.

2.3.2.3. *Medición de corteza*

La medición de corteza nos permite conocer el volumen de la madera aprovechable para la industria forestal, esta medida se la realiza a la misma altura que el diámetro. Para la medición se utiliza un instrumento llamado medidor de corteza que es pequeño, para utilizar se usa un formón contra la corteza y se presiona con la mano hasta que penetre a la interfaz con la madera. Luego se recorre la pestaña contra la corteza para leer su grosor en la escala (Emanuelli, 2011, p.21).

2.4. **Función de ahusamiento**

Juárez (2014, p.48), nos dice que ahusamiento es un término que se usa para describir la disminución en diámetro que experimenta el fuste desde la base hasta el ápice. Esto puede variar debido a muchos factores como la especie, la región, el sitio, la posición relativa del fuste y copa, además, del tratamiento silvícola como fertilización, podas, raleos.

Las ecuaciones de ahusamiento, en la actualidad, se las denomina modelos fustales o de perfil, debido a que dentro de ellas se describe tanto la forma geométrica como el abombamiento del fuste, entendido como la tasa de crecimiento del diámetro a medida que se incrementa la altura fustal (Cellini et al., 2002, p.247).

Los modelos fustales son funciones que presentan la variación diamétrica a lo largo del fuste como las funciones de diámetro al igual que las funciones de volumen, este tipo de ecuaciones

pueden incluir otras variables. Una función de ahusamiento describe el perfil del fuste, permitiendo estimar, el diámetro con y sin corteza en cualquier altura del fuste, el volumen total del fuste, además, del volumen y altura comercial para cualquier diámetro límite y desde cualquier altura de tocón (Prodan, 1997, p.111; Zepeda y Acosta, 2017, p.16).

2.4.1. Tipo de funciones de ahusamiento

Se puede definir tres tipos de funciones que son:

Las más simples que son las funciones polinómicas simples de diferentes grados, entre las cuales se hace diferencia entre los árboles individuales y árboles completos. Para los árboles individuales se hace primero una función de ahusamiento para cada árbol en la muestra y luego los parámetros obtenidos son determinados de acuerdo con variables del árbol, por otro lado, las de árboles completos corresponden a funciones que son ajustadas a la muestra de los árboles, obteniendo solo una función (Coffré, 1983, p.46; Kozak, 1988, pp.1363-1368).

Según Cao et al. (1988, pp.71-80) citado por Pérez (2020, p.26), menciona que las funciones segmentadas son el segundo tipo, se compone de dos o más expresiones que se activa o desactiva de acuerdo con la altura en la que se desee predecir el diámetro.

La de tercer tipo que son funciones de exponente variable, en donde se asume que la forma varía constantemente dentro del fuste en donde se presenta mediante una función exponencial en la cual el exponente varía con la altura del fuste (Kozak, 1988, p.1363-1368).

2.4.2. Variables de una función de ahusamiento

2.4.2.1. Variables dependientes

En una función de ahusamiento las variables dependientes son el diámetro a una altura determinada. Cuando el interés se encuentra enfocado únicamente en las estimaciones de diámetro, la minimización de la suma de cuadrados con respecto a esta variable proporcionaría buenas estimaciones, pero las consideraciones estadísticas u otros usos de la función justifican en muchos casos utilizar transformaciones (Prodan, 1997, p.130).

2.4.2.2. Variables independientes

En la función la variable independiente es la altura a la que se encuentra un cierto diámetro en el fuste h_i , se debe tener en cuenta que, para obtener una unidad de altura comparable en árboles de

dimensiones distintas, hacen recomendable utilizar una expresión de altura relativa de la forma hi/h . Esto se ha logrado por nuevas transformaciones de la variable independiente para facilitar un ajuste sin intercepto o condicionando la ecuación mediante procedimientos matemáticos planteados por Kozak et al. (1969, pp.278-283).

2.4.3. Características apropiadas del modelo fustal

Las características según Corvalán y Hernández (2008, pp.1-4) citado por Tapia (2019, p.13), son varias, además de exigencia que debe seguir la función fustal para que se considere adecuado:

Primero la función fustal debe ser flexible para que se adapte con facilidad al cambio de forma del perfil fustal. Al menos debe pasar por dos puntos de inflexión típicos de cualquier árbol: el cambio de forma basal desde un neiloide, producto de su sistema radicular, al cilindro o paraboloides central cuando se trata de árboles adultos, o también, al cono cuando está en etapa juvenil y el cambio desde un paraboloides central al cono terminal, en la sección superior de árboles adultos. (Corvalán y Hernández, 2018, pp.1-4).

Debe ser un estimador central en todo el perfil fustal, esta es tal vez la condición más estricta. En espacial esta característica se debe tener en cuenta cuando se está estimando un conjunto de productos simultáneamente, para ello es indispensable que la predicción de todos los productos sea insesgada (Corvalán y Hernández, 2018, pp.1-4).

En el árbol para predecir debe resolver la estimación del diámetro al diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura total igualando la solución en esos puntos con los datos. Es decir, si se usa algún diámetro superior como predictor del ahusamiento también debe de cumplir la misma condición (Corvalán y Hernández, 2018, pp.1-4).

2.4.4. Compatibilidad de funciones de ahusamiento y volumen

Demaerschalk (1972, pp.241-245) determinó el concepto de función de compatibilidad entre funciones de volumen y ahusamiento. La función de ahusamiento añade el volumen total calculado para una función de volumen como variable independiente. La función de ahusamiento compatible tiene la propiedad de que el volumen total obtenido por la integración de esta debe dar exactamente el mismo volumen total estimado para la función de volumen.

La precisión de esta ecuación generada depende de la precisión de las funciones de volumen de la cual son derivados. Algunas funciones de ahusamiento compatibles han sido usadas para la

estimación de volúmenes comerciales a distintas alturas mostrando una adecuada estimación del volumen (Clutter, 1980, pp.117-120; Cao et al., 1980, pp.71-80).

2.5. Volumen de la madera

2.5.1. Definición

Según Tinoco (2019, pp.2-58), el volumen es la medida de la cantidad de madera sólida más ampliamente utilizada en general expresada en metros cúbicos. En el árbol individual se puede identificar diferentes categorías que son: el árbol completo que constituye el volumen total de la madera, considerado por todos sus componentes; El volumen comercial de la madera son todos aquellos componentes cuyas dimensiones son aceptables para el mercado; Además existen denominaciones de volumen en bruto, cuando se estima el volumen total de la madera hasta un diámetro comercial (Cancino, 2012, p.42).

2.5.1.1. Cubicación de trozas

Romahn y Ramírez (2010, pp.355-358), expresa que, para las cubicaciones comerciales de trozas, se han ideado métodos sencillos que el de la utilización de fórmulas con diversos grados de precisión entre los que se pueden mencionar las basadas en fórmulas de Smalian, Huber y Newton, también los de Kutze, Heyer o Simpson

2.6. Programas estadísticos

2.6.1. R

R se trata de un lenguaje de programación más utilizado en investigaciones científicas, es un programa con un entorno y lenguaje de programación con un enfoque al análisis estadístico. R proporciona un amplio abanico de herramientas estadísticas como funciones lineales y no lineales, análisis de series temporales, algoritmos de clasificación y agrupamiento, entre otros, además de gráficas (Paradis, 2003, p.4).

2.6.1.1. RStudio

Albukrek (2015), indica que RStudio es un entorno de desarrollo integrado (IDE) para el lenguaje de programación R, dedicado a la computación estadística y gráfica. Incluye una consola, editor

de sintaxis que apoya la ejecución de código, así como herramientas para el trazado, la depuración y la gestión del espacio de trabajo.

1.6.2 JMP

Sas creó JMP en 1989 para científicos e ingenieros para explorar datos de forma visual, se trata de un software de análisis de datos, este software es interactivo y visual, y revela perspectivas que las tablas de números sin formato o los gráficos estadísticos tienen a ocultar (JMP statistical discovery, sf).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Caracterización del Lugar

3.1.1. Localización

El presente trabajo se realizó dentro del patrimonio forestal de la empresa Arboriente S.A. ubicada en la provincia de Orellana, cantón Loreto, parroquia Puerto Murialdo. La superficie de área boscosa es de 1560, 86 ha, donde aproximadamente 218 ha son destinadas a plantaciones de *Gmelina arborea*.

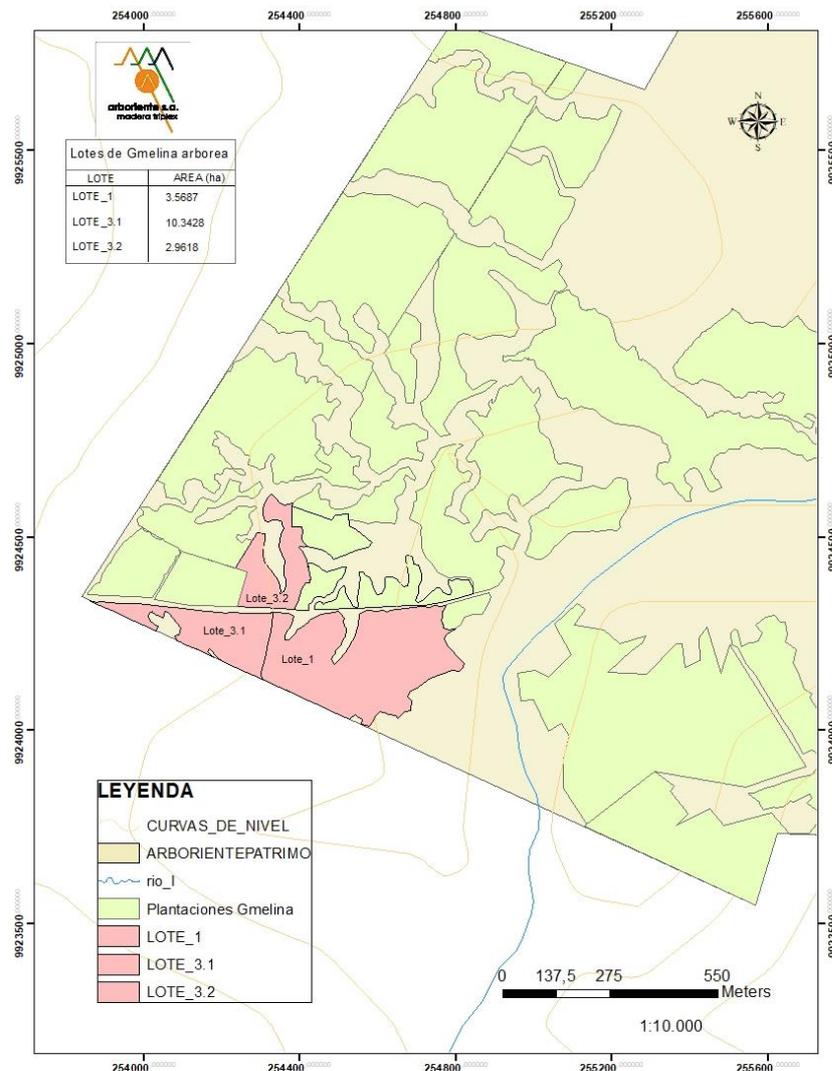


Ilustración 1-3: Área de estudio, ubicación de lotes de muestreo.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

3.1.2. *Ubicación Geográfica*

Tabla 1-3: Ubicación geográfica del área de estudio

DATUM	Latitud	Longitud	Altitud
Coordenadas Proyectadas UTM Zona 18 Sur DATUM WGS 84	0° 41' 3,465" S	77° 12' 26,584" O	300 a 330 msnm

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

3.1.3. *Condiciones climáticas*

El cantón Loreto se encuentra a 415 m.s.n.m, con una precipitación aproximada de 3000 a 6000 mm y una humedad de 88% manteniéndose en valores altos en promedio anual (PDOT del cantón Loreto, 2015, p.10).

3.1.4. *Clasificación ecológica*

A escala regional el cantón Loreto corresponde a 9 tipos de vegetación según PDOT del cantón Loreto (2015, p.40). El área de estudio pertenece según el Ministerio del ambiente del Ecuador (2013, pp.178-180) citado por Ministerio del ambiente (2018, p.6), a la clasificación ecológica Bosque siempreverde de tierras bajas del Napo-Curaray.

3.2. **Materiales y equipos**

3.2.1. *Materiales de campo*

Cámara fotográfica (A30s), cinta diamétrica, cinta métrica, desarmador, formularios de campo de Excel, GPS (Garmin), hipsómetro de SUUNTO, machete, mapas del patrimonio forestal de Arboriente S.A., motosierra (STIHL), pintura en aerosol.

3.2.2. *Materiales de oficina*

Computadora (Assus), hoja de papel bond, impresora (Epson), programas estadísticos: R, RStudio, jmp, programas informáticos: Excel, Word.

3.3. Metodología

3.3.1. Para cumplir con el primer objetivo: Establecer el programa estadístico ajustado a las funciones de ahusamiento.

Para la delimitación del área de estudio, se realizó una visita y reconocimiento del lugar, después se determinó el área de acuerdo con lo observado y se eligió los árboles de acuerdo con el marco de plantación y edades de las plantaciones, una vez elegidos se tomaron muestras.

Para la selección de árboles para el estudio se siguió las recomendaciones de Niño et al., (2018, pp.174-187) citado por Tapia, 2019, p.28), tomando en cuenta que se debe descartar los árboles que se encuentren al borde. Se seleccionaron 42 árboles de *Gmelina arborea* los cuales estaban destinados al aprovechamiento comercial, debido a daños mecánicos que impidieron la toma de datos, en total se midieron 36 árboles libres de daños mecánicos, físicos, de plagas y enfermedades.

Para la medición del DAP (diámetro a la altura del pecho) se utilizó cinta diamétrica, realizando la medición a 1,30 m, además se marcó con la pintura en aerosol. Para la medición de altura se utilizó un hipsómetro de SUUNTO colocándose a 15 o 20 m para observar el ápice y la base del árbol.

Luego se procedió al apeado de árboles seleccionados, se cortó a una altura aproximada de 15 cm sobre el nivel del suelo, después se procedió a desramar. Una vez listos se midió los diámetros con corteza y sin corteza cada 50 cm hasta llegar al ápice, si en el lugar donde se debió hacer la medición se encuentra un nudo la medición se realizará de 10 a 15 cm hacia arriba o abajo para evitar errores.

Para determinar la longitud de cada sección se midió el tocón desde el suelo hasta el corte con motosierra, a esta sección se la denominó como 0 o inicial. Se realizaron un formulario de campo, en el primero se anotó los datos de información general como el número de Lote, especie, número de árbol, DAP (cm) y altura total.

En el segundo formulario se anotó los datos de cada árbol como el año de plantación, fecha de medición, el número de sección del árbol, diámetro con corteza y sin corteza, altura total en metros. Después de ingresados los datos se creó una tabla de frecuencias de diámetros (DAP) y de alturas totales para su análisis. Seguido se realizó una base de datos en Excel, para la

depuración de datos se realizó una revisión de los datos obtenidos buscando errores en la toma de datos o en la digitalización (Anexo B).

Después de tener los formularios listos se calculó el volumen total y comercial de cada una de las secciones por árbol. Los modelos de ahusamiento-volumen utilizados fueron tres que han sido empleados en diferentes estudios y han proporcionado buenos resultados para diferentes especies forestales (Cruz et al., 2008, pp.473-485; Ramírez, et al., 2018, pp.1-11. citados por Pérez, 2020, p.53).

Se determinó comparar los programas estadísticos JMP y Rstudio. JMP fue usado debido a que en investigaciones revisadas ha sido el software usado con mayor frecuencia. Rstudio en los últimos años ha sido el software estadístico usado por excelencia en diferentes estudios y campos.

Seguido se procedió al procesamiento de datos tanto en Rstudio como en JMP, por regresión se calculó las betas que fueron usadas para evaluar de las funciones de ahusamiento, de Cruz, Cielito1 y Cielito 2, una vez estimados las betas se procedió al análisis estadístico de los datos con corteza teniendo como factor de decisión la R^2 para determinar el mejor programa estadístico para la presente investigación. En la Tabla 2-2 se observan con detalle cada una de las funciones que se evaluaron para el ahusamiento, volumen total y volumen comercial para el presen

Tabla 2-3: Modelos de ahusamiento y volumen seleccionados.

AUTOR	AHUSAMIENTO	VOLUMEN	X	CONDICIONALES
Cruz (Cruz et al., 2008, pp.473-485)	$d = \sqrt{(D^\delta(\beta_0 X + \beta_1 X^2 + \beta_2 X^3))}$	$V_c = \kappa D^\delta H^{-1} (\beta_0 ((H h_c - \frac{h_c^2}{2}) - (H h_t - \frac{h_t^2}{2}))$ $- \frac{\beta_1}{3H} ((H - h_c)^3 - (H - h_t)^3)$ $- \frac{\beta_2}{4H^2} ((H - h_c)^4 - (H - h_t)^4)$ $V_T = \frac{K}{12} D^\delta H (6\beta_0 + 4\beta_1 + 3\beta_2)$	$X = \frac{H-h_m}{H}$	Volumen Total (V _{it}) Volumen comercial (V _{CR}) $h_2 = h_c$ $h_1 = h_t$
Cielito 1 (Rentería, 1995, p.91)	$d = D (\beta_0 (X) + \beta_1 (X)^2 + \beta_2 (X)^3)^{\frac{1}{2}}$	$V_c = \kappa D^2 (\frac{\beta_0}{H} (H h_m - \frac{h_m^2}{2})) - \frac{\beta_1}{3H^2} (H - h_m)^3)$ $- \frac{\beta_2}{4H^3} ((H - h_m)^4)$ $V_T = \frac{K}{12} D^2 H (6\beta_0 + 4\beta_1 + 3\beta_2)$	$X = \frac{H-M_m}{H}$	Volumen total (v _a) $h_2 = hc$ $h_1 = ht$
Cielito 2 (Rentería et al., 2006, p.123)	$d = D (\beta_0 + \beta_1 (X) + \beta_2 (X)^2 + \beta_3 (X)^3 + \beta_4 (X)^4)^{\frac{1}{2}}$	$V_c = \kappa D^2 (\beta_0 h_m + \beta_1 \frac{h_m^2}{2H} + \beta_2 \frac{h_m^3}{3H^2}$ $+ \beta_3 \frac{h_m^4}{4H^3} + \beta_4 \frac{h_m^5}{5H^4})$ $V_T = \kappa D^2 H (\beta_0 + \frac{\beta_1}{2} + \frac{\beta_2}{3} + \frac{\beta_3}{4} + \frac{\beta_4}{5})$	$X = \frac{h_m}{H}$	Volumen total (V _i) $h_2 = H$ $h_1 = 0$

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Donde: D = diámetro normal (DAP cm);

H = altura total (m);

$K = \frac{\pi}{40000}$ (constante);

d = diámetro desde el nivel del tocón (cm);

h_t = altura del tocón (m);

h_m = altura en cada sección en cuestión del suelo (m);

h_c = altura en el tocón a la que se da el volumen comercial (m);

h = altura del fuste (m);

V_c = volumen comercial (m^3);

V_T = volumen total (m^3);

$\delta, \beta_0, \beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4$ = coeficientes a determinar mediante el ajuste.

Seguido se realizó el análisis estadístico completos con diámetros con corteza y sin corteza de ahusamiento, volumen comercial y volumen total.

Para la bondad de ajuste los criterios para calificar se basaron en métodos analíticos además se consideró el número de parámetros empleados en la estructura, a mayor número de parámetros mayor parsimonia, y para la evaluación de las funciones se optó por aplicar un método parecido al utilizado por Cao et al. (1980, pp.71-80), Tamarit et al. (2014) y Pérez (2020: p.40) asignándole un valor de acuerdo con la importancia teniendo del 1 al 3 (1 el mejor y 3 el peor), la sumatoria de los valores obtenidos son la calificación final (CF) para cada función, la comparación de estos valores permitió determinar el mejor modelo. Es así como la mejor función es la que obtuvo el valor más bajo en el ranking.

Tabla 3-3: Indicadores estadísticos para la bondad de ajuste.

Estadístico	Ecuación
Raíz del Cuadrado Medio del Error (REMC)	$REMC = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n - p}}$
Coefficiente de determinación (R^2)	$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}$
Sesgo medio del Error (\bar{E})	$\bar{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)}{n}$
Criterio de información de Akaike (AIC)	$AIC = 2p + n \ln \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n}$

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Donde: n = Número de observaciones;

P = número de parámetros del modelo;

y_i = valores observados;

\hat{y}_i = valores predichos;

\bar{y}_i = media de los valores observados (Schlaegel, 1982, pp.355-358; Parresol, et al., 1999, pp.250-259; Tedeschi, 2006, pp.225-,247).

3.3.2. Para cumplir con el segundo objetivo: Evaluar el comportamiento de la función de ahusamiento desarrollada respecto a su capacidad para predecir diámetros fustales y volúmenes comerciales.

Se evaluó las ecuaciones de Cruz, Cielito 1 y Cielito 2 para el cálculo de volumen comercial y total, realizando el análisis estadístico para su evaluación con la misma metodología del ahusamiento para la selección de la función que mejor se ajuste al volumen comercial y volumen total.

Se tomó en cuenta una revisión gráfica para secciones continuas de altura en el árbol recomendada por Castelo (2003, p.5), que denota que el modelo por posición es de suma importancia para decidir si en realidad la función de ahusamiento debe ser recomendada.

Después de considerar lo anterior se evaluó el comportamiento de las funciones seleccionadas, generando una representación gráfica de los modelos separándolos en ahusamiento, volumen comercial y volumen total con y sin corteza. Para la mejor comprensión de los resultados se determinó un número de árboles para su representación gráfica.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Estimación de los parámetros para las funciones de ahusamiento

Para realizar el análisis estadístico se utilizó 1935 pares de datos para estimar los parámetros de los modelos de ahusamiento y volumen compatibles, con regresiones lineales y no lineales utilizando el paquete estadístico de regresiones en R y el programa estadístico jmp, y se estudió cuál de los dos se ajustaba mejor a las funciones de ahusamiento. En la Tabla 1-3 se muestran los valores descriptivos para *Gmelina arborea* determinados para este estudio.

Tabla 1-4: Valores estadísticos descriptivos para *Gmelina arborea*.

	D.CC	DSC	DAP CC	DAP SC	Largo total	Largo de sección
Nº Datos	1935	1935	1935	1935	1935	1935
MAX	41,85	30	32,23	31,08	29,40	1,65
MIN	0,2	0,1	18,9	15,75	21,85	0,25
MEDIA	14,9	13,82	25,60	23,9	25,26	0,49
DESVIACIÓN STANDAR	7,42	7,06	1,79	1,05	3,6	0,1

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

4.2. Programa estadístico ajustado a las funciones de ahusamiento

Se realizó el análisis estadístico en JMP y Rstudio con la base de datos obtenidos, el análisis se realizó solo del ahusamiento con corteza. Para la decisión del programa estadístico se estableció el criterio de R^2 para establecer el programa estadístico.

En la Tabla 2-3 podemos observar la comparación los R^2 de los modelos de cruz Cielito 1 y Cielito 2 analizados en JMP y Rstudio, se puede observar que no existe diferencias significativas entre las funciones. Debido a que Rstudio tiene una R^2 con mayor cercanía a 1 fue el programa estadístico seleccionado para el cálculo de volúmenes comerciales y totales.

Tabla 2-4: Valores de R^2 obtenidos en JMP y Rstudio

		JMP	Rstudio
Función	Modelo	R^2	
Ahusamiento con corteza	Cruz	0,99978	0,99999
	Cielito 1	0,99934	0,99999
	Cielito 2	0,99999	0,99999

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Se estableció mediante los resultados obtenidos que el programa estadístico RStudio es el que mejor se ajusta a las funciones de ahusamiento, por lo tanto, es viable para el análisis de volumen comercial y volumen total obteniendo buenos modelos para la predicción de diámetros y volúmenes

4.3. Modelos de estimación

Los parámetros presentan diferencias significativas según las estimaciones realizadas, pues su p-valor es menor a 0,05 que es el valor de significancia estadístico admitido para el presente análisis, este valor p nos revela que las variables dependientes tienen gran aporte de las variables independientes.

Tabla 3-4: Parámetros obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles para *Gmelina arborea* con corteza.

Función	Autor	Parámetros de los modelos ajustados CON CORTEZA					
		ϱ	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$
Ahusamiento	Cruz	1.987846	0.008252	-0.003949	0.008191		
	Cielito 1		0.008292	-0.004564	0.008531		
	Cielito 2		0.612130	0.072710	0.827850	-1.22626	1.16223
Volumen Comercial	Cruz	2.118000	2.384000	-0.006947	0.000007		
	Cielito 1		15.53000	-0.0000005	4.57E-10		
	Cielito 2		807.2000	-11.840000	0.049920	-0.000082	0.00000005
Volumen Total	Cruz		0.2218	0.9514	1.9832		
	Cielito 1		0.2218	0.9514	1.9833		
	Cielito 2		0.1051	1.9833	0.9514	NA	NA

Coefficiente de regresión: $\varrho, \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{\beta}_4$.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Tabla 4-4: Parámetros obtenidos en el ajuste de los modelos compatibles para *Gmelina arborea* sin corteza.

Función	Autor	Parámetros de los modelos ajustados SIN CORTEZA					
		ϱ	$\hat{\beta}_0$	$\hat{\beta}_1$	$\hat{\beta}_2$	$\hat{\beta}_3$	$\hat{\beta}_4$
Ahusamiento	Cruz	2.012	-0.00219	0.00620	0.00600		
	Cielito 1		0.00673	-0.00284	0.00675		
	Cielito 2		0.46810	0.23708	0.54570	-0.9622	0.9655
Volumen Comercial	Cruz	2.1E+00	1.93700	-0.00562	0.00001		
	Cielito 1		13.1700	0.00000	3.98E-10		
	Cielito 2		705.8000	-10.34000	0.04354	-0.00007	0.00000
Volumen Total	Cruz		0.1329	1.06150	1.97330		
	Cielito 1		0.1329	1.06150	1.97330		
	Cielito 2		0.0630	1.97331	1.06155	NA	NA

Coefficiente de regresión: $\varrho, \hat{\beta}_0, \hat{\beta}_1, \hat{\beta}_2, \hat{\beta}_3, \hat{\beta}_4$.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

4.4. Bondad de ajuste de los sistemas

4.4.1. Ahusamiento

En el estadístico de bondad de ajuste (Tabla 5-3) se muestran los criterios de ajuste para seleccionar el modelo que mejor explica la variabilidad de datos en ahusamiento. Primero se seleccionaron los modelos que mejor ajustaban basándonos en el R^2 : coeficiente de determinación (el mayor), \bar{E} : sesgo promedio del error (más bajo), RCME: raíz cuadrada del error (más bajo) y AIC: criterio de información de Akaike (bajo).

Tabla 5-4: Estadístico de bondad de ajuste para modelos de ahusamiento para *Gmelina arborea*.

Función	Modelo	Bondad de Ajuste									
		R^2	C_1	\bar{E}	C_2	RCME	C_3	AIC	C_4	CF	
Ahusamiento	Cruz	Cc	0.99999	1	-0.018902	1	0.000400	3	-29993.85	3	8
		Sc	0.99999	1	-0.017881	1	0.000407	3	-30208.74	2	7
	Cielito 1	Cc	0.99999	1	-0.000040	3	0.000001	1	-53871.69	1	6
		Sc	0.99999	1	-0.000036	3	0.000001	1	-54188.81	1	6
	Cielito 2	Cc	0.99999	1	-0.001230	2	0.000028	2	-40564.60	1	6
		Sc	0.99999	1	-0.003644	2	0.000083	2	-36366.80	2	7

Elaborado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Dónde: R^2 = Coeficiente de determinación; \bar{E} = Sesgo promedio del error; REMC = Raíz cuadrada media del error; AIC =criterio de información de Akaike; CF = Calificación final.

Según las estimaciones realizadas, el modelo de Cielito 1 mostró una calificación más baja según lo estadístico de ajuste. Posee un alto R^2 lo cual determina que el modelo sin corteza y con corteza explica en un 99% la variabilidad total presente en la variable dependiente (diámetro). A pesar de no tener el valor más bajo en el sesgo del error en comparación a los demás modelos, los modelos Cielito 1 posee las puntuaciones más bajas en RCME y AIC.

En segundo lugar, tenemos a los modelos con corteza y sin corteza de Cielito 2, ya que explica en un 99% la variabilidad del diámetro. Los valores de RCME y AIC son más altos que Cielito, pero no existe una diferencia mayor en comparación al modelo propuesto por Cruz. El sesgo del error crece en comparación a Cielito 1, pero la diferencia con Cruz sigue siendo mayor.

4.5. Bondad de ajuste de los sistemas de volumen comercial y total

4.5.1. Volumen comercial

En la Tabla 6-3 podemos ver el estadístico de bondad de ajuste, se muestra los criterios de ajuste para seleccionar el modelo que mejor explique la variabilidad de volumen comercial. Se seleccionaron los modelos que mejor se ajusten basándose en R^2 : coeficiente de determinación, E: sesgo promedio del error (más bajo), RCME: raíz cuadrada del error (más baja) y AIC: criterio de información de Akaike (bajo).

Tabla 6-4: Estadístico de bondad de ajuste para modelos de volumen comercial y total para *Gmelina arborea*.

Función	Modelo		Bondad de Ajuste								
			R^2	C_1	\bar{E}	C_2	RCME	C_3	AIC	C_4	CF
Volumen Comercial	Cruz	cc	0.99996	3	0.006629	2	0.000151	2	-34048.82	2	9
		sc	0.99997	2	0.004920	2	0.000112	2	-35202.35	1	7
	Cielito 1	cc	0.99999	1	-0.002034	1	0.000046	1	-38623.44	1	4
		sc	0.99999	1	-0.002132	1	0.000048	1	-38441.74	1	4
	Cielito 2	cc	0.99998	1	0.037982	3	0.000865	3	-27291.15	3	10
		sc	0.99998	1	0.032844	3	0.000748	3	-27853.67	2	9

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Dónde: R^2 = Coeficiente de determinación; \bar{E} = Sesgo promedio del error; REMC = Raíz cuadrada media del error; AIC =criterio de información de Akaike; CF = Calificación final.

Para volumen comercial los modelos Cielito 1 con árboles con corteza y sin corteza, mostraron la calificación más baja en comparación a los demás modelos, con lo cual se proyectan como los mejores modelos para explicar el volumen comercial. Estos modelos explican el 99% de la variabilidad total del volumen con corteza y sin corteza. Además, poseen el valor más bajo de sesgo de error en comparación a los demás modelos. Por otra parte, no muestran los valores más bajos de AIC, pero si RCME.

Se proyecta el modelo de Cruz en segundo lugar pues posee la segunda calificación más baja de todos los modelos de volumen comercial. A pesar de que no refleja el mayor porcentaje de variabilidad (99% con corteza y sin corteza) para explicar el volumen comercial, los modelos poseen el menor sesgo de error, ECME y AIC, después de los modelos Cielito 1.

4.5.2. Volumen total

En el análisis estadístico de bondad de ajuste Tabla 7-3 muestra los criterios de ajuste para seleccionar el modelo que mejor explique la variabilidad de los datos de volumen total. Para la selección de los modelos se basó en el R^2 : coeficiente de determinación (el mayor), E: sesgo promedio del error (más bajo), RCME: raíz cuadrada del error (más bajo) y AIC: criterio de información de Akaike (más bajo).

Tabla 7-4: Estadístico de bondad de ajuste para modelos de volumen total para *Gmelina arborea*

Función	Modelo	Bondad de Ajuste									
		R^2	C_1	\bar{E}	C_2	RCME	C_3	AIC	C_4	CF	
Volumen Total	Cruz	cc	0.99995	3	0.000900	2	0.000020	2	-41779.54	2	9
		sc	0.99996	2	0.000832	1	0.000019	1	-42080.65	2	6
	Cielito 1	cc	0.99995	3	0.000900	2	0.000020	2	-41778.73	2	9
		sc	0.99996	2	0.000832	1	0.000019	1	-42083.00	1	5
	Cielito 2	cc	0.99995	3	0.000900	2	0.000020	2	-41778.40	3	10
		sc	0.99999	1	0.000832	1	0.000019	1	-42082.32	2	5

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Dónde: R^2 = Coeficiente de determinación; \bar{E} = Sesgo promedio del error; REMC = Raíz cuadrada media del error; AIC =criterio de información de Akaike; CF = Calificación final.

De los modelos de volumen total, el modelo de Cielito 2 sin corteza, recibió la calificación más baja y es el mejor modelo para el volumen total. La variabilidad explicada por los factores fue de 99%. Al tener parámetros estimados similares, el sesgo de error es igual con los modelos de Cielito 1 y Cruz sin corteza, de la misma forma sucede con el RCME. El AIC es uno de los más bajos en comparación a los demás modelos.

El modelo cielito 1 mostró una calificación igual así mismo posee una varianza explicada del 99% por los factores para el volumen total. El sesgo de error es igual en comparación a Cruz y Cielito 2, lo que no sucede con el valor de AIC, pues es el más bajo de todos los modelos estimados.

4.6. Resumen de calificación de funciones

Para una mejor comprensión de los resultados tenemos la Tabla 8-3 donde se encuentra un resumen de las calificaciones finales seguido del análisis estadístico.

Tabla 8-4: Calificación final de las funciones evaluadas

CALIFICACIÓN FINAL DE FUNCIONES EVALUADAS						
Función	Ahusamiento		Volumen comercial		Volumen total	
	CC	SC	CC	SC	CC	SC
CRUZ	8	7	9	7	9	6
CIELITO 1	6	6	4	4	9	5
CIELITO 2	6	7	10	9	10	5

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Donde: CC= Con corteza, SC= Sin corteza

4.7. Comportamiento de las funciones de ahusamiento respecto a la capacidad de predecir diámetros fustales y volúmenes.

4.7.1. Ahusamiento

El modelo de Cielito 1 y Cielito 2 se ajusta de mejor manera a los registros originales, lo que concuerda con las estimaciones formales de las funciones formales de las funciones de ahusamiento, pues en este caso, fue el modelo de Cruz quién mostró un desajuste en la predicción de diámetros de las secciones superiores. Lo mencionado ocurre para los registros de los árboles con corteza y sin corteza. Como se muestra en el Gráfico 1-3 y 2-3.

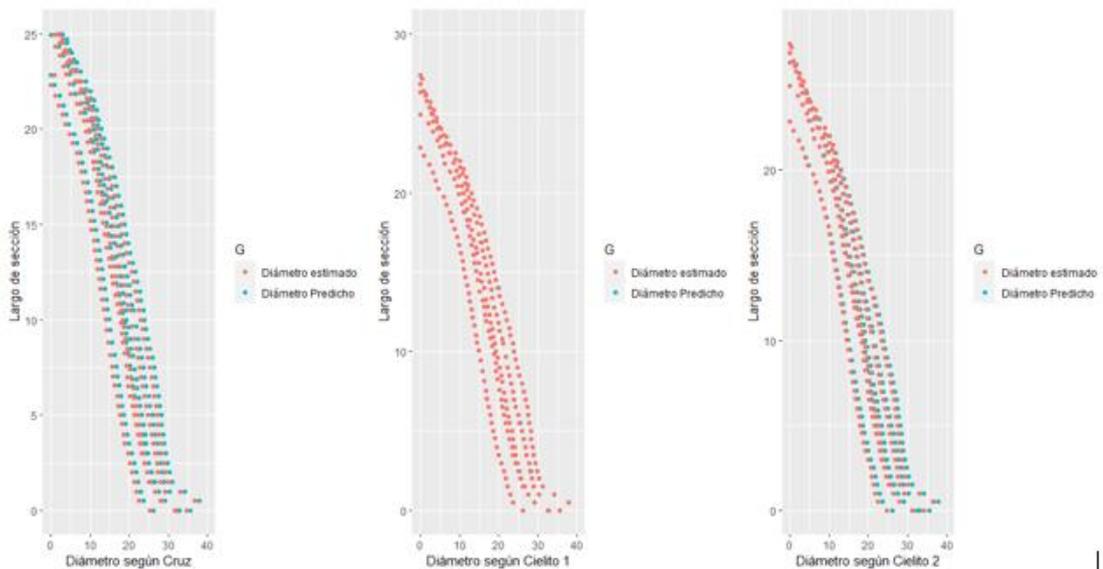


Ilustración 1-4: Comportamiento de las tres funciones de ahusamiento con corteza sobrepuesta al perfil fustal de *Gmelina arborea*.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

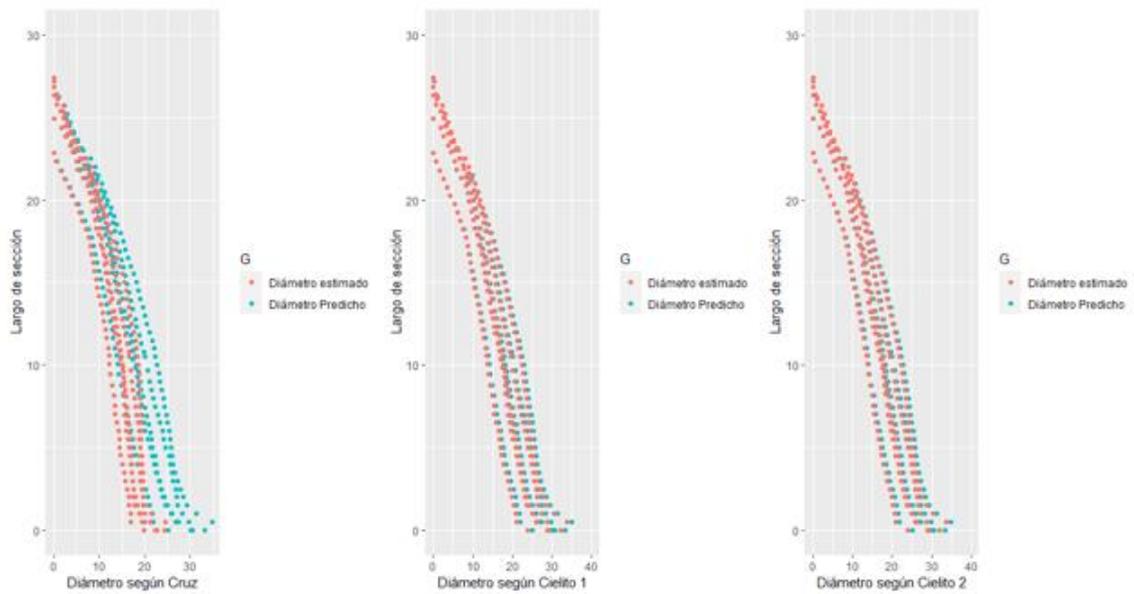


Ilustración 2-4: Comportamiento de las tres funciones ahusamiento sin corteza sobrepuesta al perfil fustal de *Gmelina arborea*.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

4.7.2. Volumen comercial

El modelo que mejor se ajusta conforme a las estimaciones para el volumen comercial es el de Cielito 2, con corteza y sin corteza, ya que son pocas las observaciones que se ubican lejos de los puntos de color rojo, que representa el volumen estimado, de igual forma Cruz presenta un buen ajuste para la predicción. Así mismo, existe una menor dispersión en la nube de puntos para las estimaciones y predicción del modelo Cielito 2.

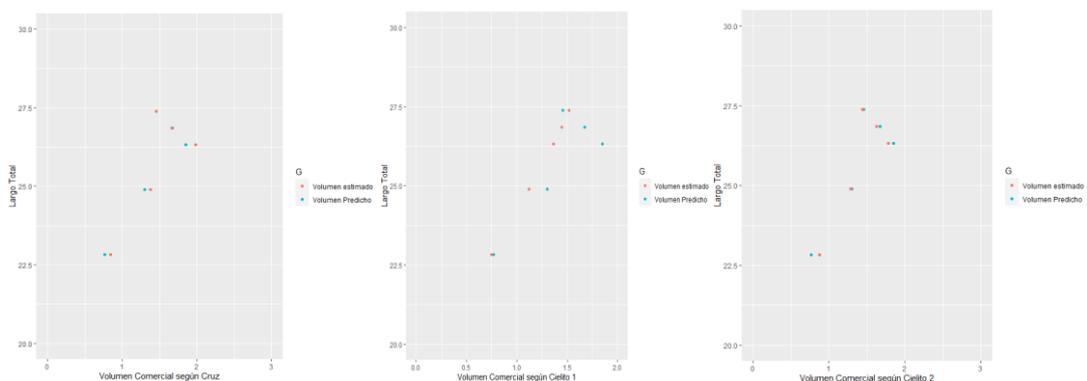


Ilustración 3-4: Comportamiento de las tres funciones de volumen comercial con corteza sobrepuesta a los datos de volumen comercial de *Gmelina arborea*.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

Cielito 1 muestra un desajuste alto en las predicciones de volumen como se observa en la Gráfico 3-3 que es el volumen con corteza y el Gráfico 4-3 que muestra el volumen sin corteza, lo que no

concuerta con las estimaciones formales para el volumen comercial con corteza y sin corteza, de igual forma se observa mayor dispersión en la nube de puntos para las estimaciones y predicciones del modelo.

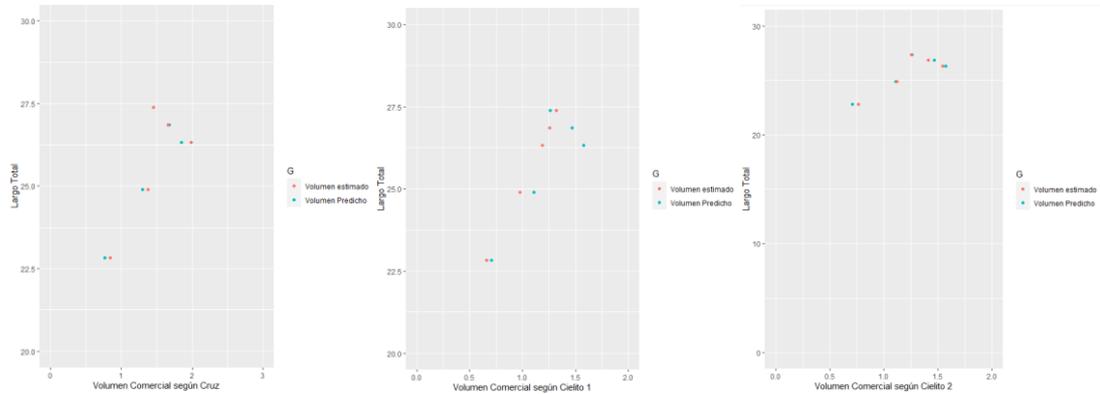


Ilustración 4-4: Comportamiento de las tres funciones de volumen comercial sin corteza sobrepuesta a los datos de volumen comercial de *Gmelina arborea*.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

4.7.3. Volumen total

Con respecto al volumen total, las tres funciones que estiman el volumen se ajustan en gran medida conforme a los puntos rojos, que son las observaciones estimadas (Gráfico 5-3). Aquello se determinó en la estimación formal de los parámetros, en donde se obtenía valores similares para las tres funciones.

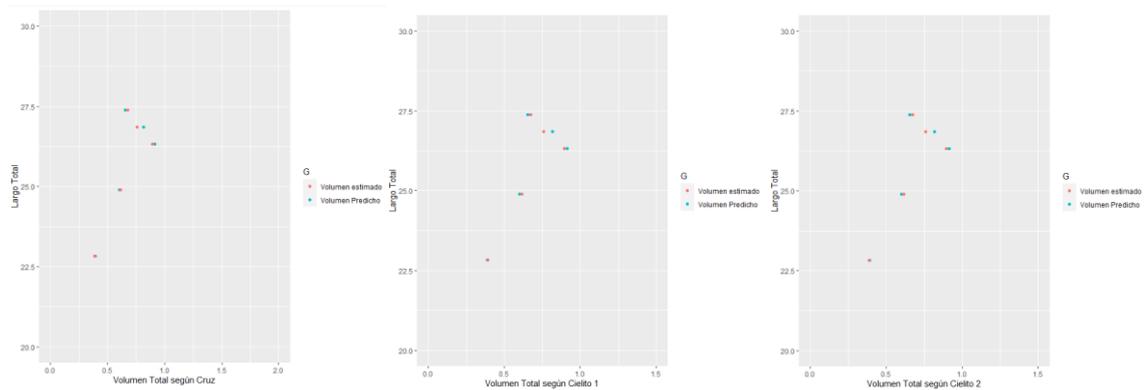


Ilustración 5-4: Comportamiento de las tres funciones de volumen total con corteza sobrepuesta a los datos de volúmenes totales de *Gmelina arborea*.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 20223

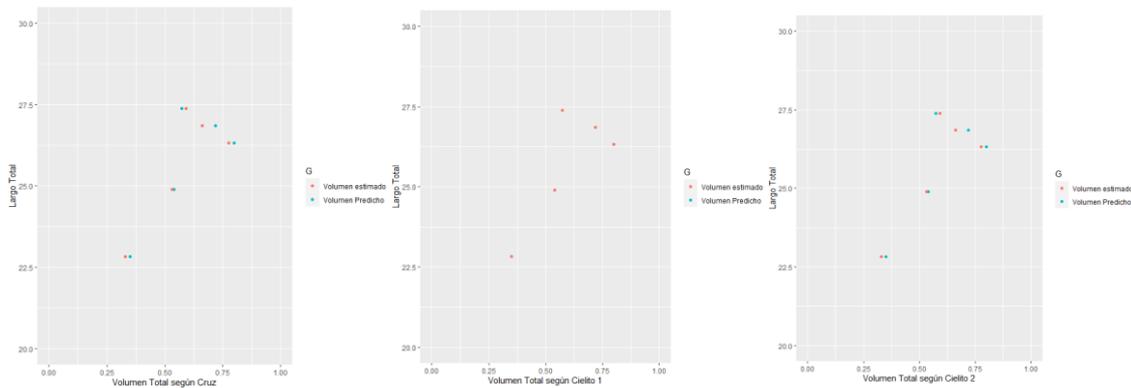


Ilustración 6-4: Comportamiento de la función Cruz de volumen total sin corteza sobrepuestas a los datos de volúmenes totales de *Gmelina arborea*.

Realizado por: Pantoja, Bryan, 2023.

4.8. Discusión

Los modelos de ahusamiento-volumen fueron desarrollados para el manejo eficiente de los recursos forestales, la estimación del volumen de manera precisa permite a los silvicultores obtener un cálculo confiable de la producción generada por las plantaciones forestales (Niño et al., 2018, pp.174). Demaerschalk (1972, pp.241-245) desarrollo la compatibilidad entre funciones de ahusamiento y volumen, siendo el modelo polinomial simple desarrollado utilizado como modelo base para estimar volúmenes en diferentes especies forestales (Niño et al., 2018, pp.177). Se puede ajustar los modelos de volumen comercial (Cao et al., 1980, pp.71-80; Clutter, 1980, pp.127-120; Cruz et al., 2008, pp.473-485; Demaerschalk, 1972, pp.241-245) para evitar la integración de los modelos de ahusamiento obteniendo funciones que intrínsecamente definen una ecuación de ahusamiento, integrando matemáticamente estas funciones permite obtener una ecuación de volumen total compatible parecida a las que se utilizaron en este estudio que fueron tres: Cruz, cielito 1 y cielito 2. Estos tres modelos tienen un valor de R^2 que se encuentra por encima del 75% (Imaña et al., 2009, pp.107-116 citado por Pérez, 2020, p.55).

Niño et al. (2018, pp.174-187) generó un sistema de ecuaciones compatible de ahusamiento-volumen para *Gmelina arborea* utilizando perfiles fustales de 97 árboles en Colombia considerando cuatro sistemas: sistema 1 (Demaerschlk, 1972, pp.241-245), Sistema 2 (Max y Burkhart, 1976, pp.283-289), Sistema 3 (Parresol et al., 1987, pp.250-259) y Sistema 4 (Fang et al., 2000, pp.1-12), estos requiriendo ajuste para *Gmelina arborea*, en este estudio el modelo de Fang et al. (2000, pp.1-12) (Sistema 4) presentó el mejor comportamiento para la predicción de diámetros fustales, en cambio el modelo de Parresol et al., (1987, pp.259-260) (Sistema 3) para volúmenes comerciales. En este estudio el modelo de Cielito 1 obtuvo el mejor ajuste para la estimación del volumen comercial para *Gmelina arborea*, para la estimación en el volumen total las tres funciones se ajustaron en gran medida.

Así mismo, Alo et al. (2011, p.123) desarrollo varias ecuaciones de ahusamiento para *Gmelina arborea* provenientes de plantaciones en Nigeria obteniendo que el ahusamiento aumenta directamente con el tamaño de los árboles por lo que realizaron un ajuste para las clases diamétricas obteniendo un R^2 entre 0.45 y 0.86. Para este estudio se obtuvo un R^2 de 0.9999 por lo que no se requirió de un ajuste porque los modelos evaluados presentaron estimaciones consistentes para árboles de diámetro diferente.

Gaillard et al. (1997, pp.51-62) observaron que el sistema de ecuaciones propuesto por Demaerschalk (1972, pp.241-245) presenta baja capacidad predictiva en la base y en el ápice de árboles de *Eucalyptus tereticornis* en Argentina. En el presente estudio se observó que el sesgo promedio más alto se encontró en la parte inferior o base del árbol, de manera similar, Quiroz (2015, p.18) en su estudio realizado en Costa Rica con *Gmelina arborea* menciona que en la predicción de diámetros fustales obtuvo un sesgo de -17.25 % principalmente originado en la base del árbol.

A pesar de la importancia que tiene *Gmelina arborea* en la producción forestal son limitados los estudios realizados para generar modelos de ahusamiento-volumen para la cuantificación de volúmenes comerciales para la especie (Niño et al., 2018, pp.176). Hernández et al. (2013, pp.34-45) citado por Pérez (2020: p.55) menciona que el modelo Cielito 1 modificado por Cruz et al. (2008, pp.473-485) tiene resultados óptimos para utilizarlo como modelo compatible de ahusamiento y volumen para *Pinus patula*, este modelo muestra buenos ajustes en diámetro y volumen comercial, en este estudio se observó que el modelo de Cruz et al. (2008, pp.473-485) también tiene un buen ajuste para utilizarlo en *Gmelina arborea*.

CONCLUSIONES

El ahusamiento que fue predicho por la función de Cielito 1, en registro de árboles con corteza y sin corteza, posibilita que dicha función sea derivable, con lo cual se acepta la hipótesis alternante y se rechaza la hipótesis nula en esta investigación.

Se determinó Rstudio como el programa estadístico que mejor se ajusta a las funciones de ahusamiento por lo cual se ajustaron los tres modelos (Cruz, Cielito 1 y Cielito 2) para la estimación de diámetros y volúmenes comerciales para las plantaciones de *Gmelina arborea* pertenecientes a la empresa Arboriente S.A. siendo Cielito 1; $d = D (\beta_0 (X) + \beta_1 (X)^2 + \beta_2 (X)^3)^{\frac{1}{2}}$, $V_C = \kappa D^2 (\frac{\beta_0}{H} (Hh_m - \frac{h_m^2}{2})) - \frac{\beta_1}{3H^2} (H - h_m)^3 - \frac{\beta_2}{4H^3} ((H - h_m)^4)$ con corteza y sin corteza, el modelo que obtuvo las calificaciones más altas con respecto a R^2 , a pesar de que todos los modelos estuvieron con puntuaciones cercanas al 1, demostrando un ajuste alto.

RECOMENDACIONES

Los modelos con mejor ajuste, determinados en la presente investigación, se puede utilizar para diferentes especies de árboles, se recomienda utilizarlos en primera instancia y luego posibilitar la acción de otros modelos.

Para estudios futuros, se recomienda variar en mayor dimensión las secciones para pronosticar los perfiles fustales, ya que se puede obtener estimaciones más acertadas, pues se toma en cuenta en mayor medida la producción y se minimiza costos de experimentación.

Se recomienda incluir otras zonas del país en este estudio para evaluar la efectividad de predicción de diámetros y volúmenes comerciales de las funciones con *Gmelina arborea*.

Se recomienda realizar un seguimiento de las áreas estudiadas en la cosecha final y compararla con el presente estudio para comprender el dinamismo del desarrollo de las plantaciones.

GLOSARIO

Corteza: según NIMF n° (2018, p.11) es la capa exterior al cambium de un tronco, rama o raíz leñosa.

Desramar: Eliminación de las ramas del árbol, copa (Rodríguez et al., 2013, pp. 2-20).

Estimadores: son estadísticos descriptivos de la muestra. Estos estadísticos son aleatorios de los correspondientes parámetros de la población con un sesgo y distribución conocida, cuando la selección de la muestra cumple varias condiciones predeterminadas (Diéguez et al., 2005, p.5).

Lote: según NIMF n°5 (2018, p.15) es un conjunto de unidades de un solo producto, identificable por su composición homogénea.

Parámetros: es una constante deducida de los datos que condensan estos en valores que los caracterizan, por ejemplo: media, desviación típica, entre otros (Diéguez et al., 2005, p.7).

Regresión: es una técnica estadística que relaciona una variable dependiente y con la información suministrada por otra variable independiente x, ambas variables deben ser continuas (Unidad Andina 2007, p. 8).

Sesgo: según Unidad Andina (2007, p.8) es la diferencia entre el valor del parámetro analizado y su valor esperado.

Tocón: es la parte del árbol que se queda en el suelo después de ser talado el árbol (Rodríguez et al., 2013, pp.2-20).

BIBLIOGRAFÍA

ALBUKREK, F. Paquete "TapeR" [en línea], 2015. [Consulta: 5 mayo 2021]. Disponible en: <https://cran.rproject.org/web/packages/TapeR/TapeR.pdf>.

ALO, A.; et al. Taper equations for *Gmelina arborea* in Omo forest reserve, southwestern Nigeria. *Journal of Applied Tropical Agriculture*, vol. 16, n° 1-2 (2011), pp. 120-127.

BOSQUE NATURAL. Medición de diámetros [en línea], 2011. [Consulta: 6 mayo 2021] Disponible en: <http://amazoniaforestal.blogspot.com/2011/10/medicion-de-diametros.html>.

BOSQUES SIN FRONTERAS. Cómo medir un árbol [en línea], 2011. [Consulta: 6 mayo 2021] Disponible en: https://www.sdlmedioambiente.com/Edadarbol/como_medir.html.

CANCINO, J. . *Dendrometría Básica. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente. 2012, pp. 26-42.*

CAO, Q.; et al. Evaluation of two methods for cubic-volume prediction of loblolly pine to any merchantable limit. *Forest Science*, vol. 26, n° 1 (1980), pp. 71-80.

CASTEDO, D. Modelo dinámico de crecimiento para las masas de *Pinus radiata* D. Don en Galicia (Trabajo de titulación). (Doctoral). Universidad de Santiago de Compostela, España. 2003, p. 5

CELLINI, J.; et al. Modelos de perfil del tronco en *Nothofagus pumilio* (Poepp et Endl Krasser) y su utilización en el cálculo del volumen total. *Forest Systems*, 11(2). 2002, p. 247.

CHAVARRIA Y VALERIO, Guía preliminar de parámetros silviculturales para apoyar los proyectos de reforestación en Costa Rica. *Minae; Costa Rica. 1993, p. 202.*

WEBB. Informe 14. La durabilidad de la madera de melina creciendo en Costa Rica. Proyecto de investigación: Melina y teca: Determinación de propiedades básicas para sus posibles usos industriales. Centro de investigación en bosque industria. Instituto tecnológico de Costa Rica. p. 94.

CLUTTER, J. Development of a taper functions from variable for merchantable volume equations. *Forest Science*, vol. 26, n° 1 (1980), pp. 117–120.

COFFRÉ, L. Modelos fustales (medición, fuste, *Pinus radiata*). (Stem (measurent) models (*Pinus radiata*)). Valdivia (Chile). 1983, p. 46.

CORVALÁN, P., & HERNÁNDEZ, J. Funciones de ahusamiento [en línea], 2008, pp. 1-4. [Consulta: 6 mayo 2021] Disponible en: https://www.ucursos.cl/forestal/2009/2/EF024/1/material_docente/previsualizar?id_material=481443 el 30/07/2019.

CRUZ, F.; et al. Sistema compatible de ahusamiento-volumen para *Pinus cooperi* Blanco en Durango, México. *Agrociencia*, vol. 42, n° 4 (2008), pp. 473-485.

DEMAERSCHALK, J. Converting Volume Equations to Compatible Taper Equations. *Forest Science* [en línea], 1972, 18, pp. 241-245. [Consulta: 7 mayo 2021] Disponible en: <https://doi.org/10.1093/forestscience/18.3.241>.

DIÉGUEZ, U., et al. Prácticas de Dasometría. [en línea], 2005, pp. 1-7. [Consulta: 7 noviembre 2021] Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/305640101> 2005.

DRAKE, F.; et al. Compendio de Funciones Dendrométricas del Bosque Nativo. Universidad de Concepción. Santiago de Chile: Conaf y Sociedad Alemana de Cooperación Técnica (GTZ). [en línea], 2003, p. 17. [Consulta: 04 de febrero del 2022]. Disponible en: http://forestal.mag.gob.sv/phocadownload/1_medicionesforestales-sicas-patricio-emanuelli-137974790618.pdf

EMANUELLI, P. (*Documento Guía*) *Parte 1: Principios básicos de medición forestal*. República Dominicana. 2011, p. 21

ESPINOZA, R. El fomento de plantaciones forestales comerciales en el Ecuador en el período 2006-2012. Propuesta de un nuevo sistema de cofinanciamiento a las Plantaciones Forestales. (Trabajo de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Economía. 2014, p. 2.

FANG, Z. et al. Compatible volume taper models for loblolly and slash pine based on system with segmented-stem form factors. *Forest Science*, vol. 46 (2000), pp. 1-12.

GAD Municipal de Loreto. PDOT del Cantón Loreto, Plan de Desarrollo territorial del cantón Loreto [En línea], 2015, pp. 2-24 [Consulta: 10 de octubre 2021]. Disponible en: <https://www.loreto.gob.ec/loreto/images/RENDICION/RC-2017/PDyOT-Loreto-aprobado-actualizado-enero-2018.pdf>.

GAILLARD, C. et al. Ajuste de funciones de forma en *Eucalyptus tereticornis*. *Quebracho*, vol. 5 (1997), pp. 51-62.

HERNÁNDEZ, D.; et al. Funciones de ahusamiento y volumen comercial para *Pinus patula* schlttdl. Et cham. En Zacualtipán, Hidalgo. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, vol. 4, n° 16 (2013), pp. 34-45.

IMAÑA, J.; et al. Equações de volume de madeira para o cerrado de Planaltina de Goiás. *Floresta*, vol. 39, n° 1 (2009), pp. 107-116.

JIMÉNEZ, L. El cultivo de la melina (*Gmelina arborea* Roxb) en el Trópico. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Sangolquí, Ecuador, 2016, pp. 23-155.

JMP STATISTICAL DISCOVERY. Software JMP. ¿Qué producto JMP es el adecuado para usted? [en línea]. Sf. [Consulta: 06 junio 2021]. Disponible en: https://www.jmp.com/es_cl/software.html

JUÁREZ, Y. Dasometría, Apuntes de clases y Guía de Actividades Prácticas [en línea], 2014, pp. 1-48. [Consulta: 6 mayo 2021] Disponible en: https://www.academia.edu/35493332/DASOMETR%C3%8DA_Apuntes_de_Clase_y_Gu%C3%A1Da_de_Actividades_Pr%C3%A1cticas.

KOZAK, A. A variable-exponent taper equation. *Canadian Journal of Forest Research*, vol. 18, n° 11 (1988), pp. 1363-1368.

KOZAK, A.; et al. Taper Functions and their application in forest inventory. *The Forestry Chronicle*, vol. 45, n° 4 (1969), pp. 278–283.

MALDONADO, P. Mensura forestal Dasometria [en línea], 2018. [Consulta: 6 mayo 2021] Disponible en: <https://slideplayer.es/slide/13359518/?fbclid=IwAR3fT0ythYyLO7JsDxlEwBVzoZRAx3A8mBP2Rh7FZysF4B2NOk8NNrXCh18>.

MAX, T., & BURKHART, H. Segmented polynomial regression applied to taper equations. *Forest Science*, vol. 22, n° 3 (1976), pp. 283-289.

MEJÍA, M. Determinación del factor de forma de Gmelina (*Gmelina arborea* Roxb) en plantaciones de uno, dos y tres años de edad en la hacienda El Vergel Cantón Valencia Provincia de Los Ríos (Trabajo de Titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. (Riobamba-Ecuador). 2013, pp. 1-2.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Estadística del patrimonio natural del Ecuador Continental [En línea]. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Coordinación de Planificación Ambiental y Gestión Estratégica, Quito-Ecuador, 2018, pp. 278.180. [Consulta: 10 de octubre 2021]. Disponible en: https://proamazonia.org/wpcontent/uploads/2019/10/ECUADOR_Folleto_Patrimonio_Natural_compressed.pdf.

MINISTERIO DEL AMBIENTE. Sistema de Clasificación de Ecosistemas del Ecuador Continental [En línea]. Subsecretaría de Patrimonio Natural, Proyecto Mapa de vegetación, Quito-Ecuador, 2013, p. 6. [Consulta: 10 de junio 2021]. Disponible en: <http://app.sni.gob.ec/sni-link/sni/PDOT/NIVEL%20NACIONAL/MAE/ECOSISTEMAS/DOCUMENTOS/Sistema.pdf>.

MUSSETTA, P., & BARRIENTOS, M. Vulnerabilidad de productores rurales de Mendoza ante el cambio ambiental global: clima, agua, economía y sociedad. *Revista de La Facultad de Ciencias Agrarias*, vol. 47, n° 2 (2015), pp. 8-16.

NIMF N° 5. Glosario de términos fitosanitarios. Normas Internacionales para medidas fitosanitarias [En línea]. FAO, 2018, pp. 11-15. [Consulta: 10 de enero 2022] Disponible en: https://www.ippc.int/static/media/files/publication/es/2018/07/ISPM_05_2018_Es_2018-07-10_PostCPM13.pdf.

NIÑO, G.; et al. Modelos compatibles de ahusamiento-volumen para árboles de *Gmelina arborea* Roxb. En el Alto Magdalena, Colombia. *Colombia Forestal*, vol. 21, n° 2 (2018), pp. 174-187.

PARADIS, E. R para Principiantes (1a ed.). Francia: Montpellier [en línea], (2003), p. 4. [Consulta: 15 de junio del 2021]. Disponible en: https://cran.r-project.org/foc/contrib/rdebuts_es.pdf

PARRESOL, B.; et al. A volume and taper prediction system for bald cypress. *Canadian Journal of Research*, vol. 17, pp. 250-259.

PÉREZ, J. determinación de una función de ahusamiento para el cálculo de volumen en plantaciones de *Pinus patula*, pertenecientes a la empresa Aglomerados Cotopaxi S.A., Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. (Riobamba-Ecuador). 2020, pp. 1-56

PÉREZ, M. Compatibilidad de funciones de volumen y ahusamiento para renovales de Roble en la décima región (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. (Valdivia-Chile). 2004, pp. 7-21.

PRODAN, M. Mensura Forestal. Agroamerica. San José, Costa Rica, 1997, pp. 11-130.

RENTERÍA, A. Estimación del volumen comercial de *Pinus cooperi* blanco mediante modelos de ahusamiento en Durango. II congreso Mexicano de Recursos Forestales, Resumen de Ponencias. Montecillo, México. 1995, p. 91.

RENTERÍA, A.; et al. Sistema de cubicación para *Pinus cooperi* Blanco mediante ecuaciones de ahusamiento en San Dimas, Durango. En CEVAG. El Sitio Permanente de Experimentación Forestal (SPEF) "Cielito Azul" a 40 años de su establecimiento. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*, n° 135 (2006), p.135.

SÁNCHEZ, Marcos G.; & REYES, César G. "Ecuador: Revisión a las principales características del recurso Forestal y de la Deforestación". *Revista Científica y Tecnológica UPSE*, vol. III, n° 1 (2015), pp. 41-54.

RAMÍREZ, A; et al. Modelación del perfil fustal y volumen total para *Pinus ayacahuite* Ehren. Madera y bosques [en línea], vol 24(2), (2018), pp. 1-11. [Consulta: 6 de julio 2021]. Disponible en: <https://www.cielo.org.mx/pdf/mb/v24/n2/2448-7597-mb-24-02-e2421496.pdf>

RODRÍGUEZ, E; et al. *Guía de Cubicación de madera N°1*. Colombia. ISBN: 978-958-8370-42-2, (2013), (Colombia), pp. 2-20.

ROJAS, F.; et al. Manual de productores de Melina Gmelina arborea en Costa Rica [en línea], 2004, pp. 121-190. [Consulta: 6 mayo 2021] Disponible en:

https://www.academia.edu/35252038/MANUAL_PARA_PRODUCTORES_DE_MELINA_Gmelina_arborea_EN_COSTA_RICA

ROMAHN, F., & RAMÍREZ, H. *Dendrometría* 1^a ed. Chapingo - México: División de Ciencias Forestales, 2010.

SCHLAEGEL, B. Notes: Boxelder (*Acer negundo* L.) Biomass Component Regression Analysis for the Mississippi Delta [en línea]. *Forest Science*, vol. 28, (1982), pp. 355–358. [Consulta: 7 mayo 2021]. Disponible en: [10.1093/forestscience/28.2.355](https://doi.org/10.1093/forestscience/28.2.355).

QUIRÓS, S. Modelos de volumen comercial, perfil de fuste y crecimiento para plantaciones clonales de *Gmelina arborea* Roxb. Ex Sm. en Costa Rica (Trabajo de titulación). (Grado) Instituto tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería Forestal. (Cartago-Costa Rica). 2015, pp. 29-45.

TAPIA, E. Determinación de una función de ahusamiento para el cálculo volumen en plantaciones de *Pinus radiata* pertenecientes a la empresa AGLOMERADOS COTOPAXI S.A., Cantón Latacunga, Provincia de Cotopaxi. (Trabajo de titulación). (Grado) Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Ingeniería Forestal. (Riobamba-Ecuador). 2019, pp. 13-28

TEDESCHI, L. Assessment of the adequacy of mathematical models [en línea]. *Agricultural Systems*, vol. 89, (2006), pp. 225–247. [Consulta: 7 mayo 2021]. Disponible en: [10.1016/j.agsy.2005.11.004](https://doi.org/10.1016/j.agsy.2005.11.004).

TINOCO, J. Ecuaciones volumétricas para estimar la producción de *Cordia alliodora* (Ruiz y Pavón) Oken en plantaciones agroforestales de café del centro poblado San Miguel de las naranjas, Jaén – Cajamarca [en línea] (Trabajo de titulación). (Grado) Universidad Nacional de Cajamarca, Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela Académica Profesional de Ingeniería Forestal. (Jaén-Cajamarca). 2019. pp. 2-58 [Consulta: 7 mayo 2021] Disponible en: http://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/UNC/1147/Tesis-Ronald_Alcántara-Final.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

TROPICOS.ORG *Gmelina arborea* Roxb. [En línea]. [Consulta: 10 mayo 2021] Disponible en: <https://www.tropicos.org/name/33701715>

ZEPEDA, E., & ACOSTA, M. Incremento y rendimiento maderable de *Pinus montezumae* Lamb., en San Juan Tetla, Puebla. *Madera y Bosques* [en línea], 2017, p. 18 (México) vol. 6, n° 1, p. 16. [Consulta: 7 mayo 2021]. Disponible en: <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611339>.



ANEXOS

ANEXO A: LABORES REALIZADAS EN CAMPO

LABORES REALIZADAS EN CAMPO	
<p>Georreferenciación del área</p> 	<p>Selección de árboles para el estudio</p> 
<p>Medición del DAP Lote 1</p> 	<p>Medición del DAP Lote 3.2</p> 



Obtención de muestras para análisis



Corte por sección



Medición del diámetro de cada sección



ANEXO B: DATOS OBTENIDOS DE LOS DIFERENTES PARAMETROS

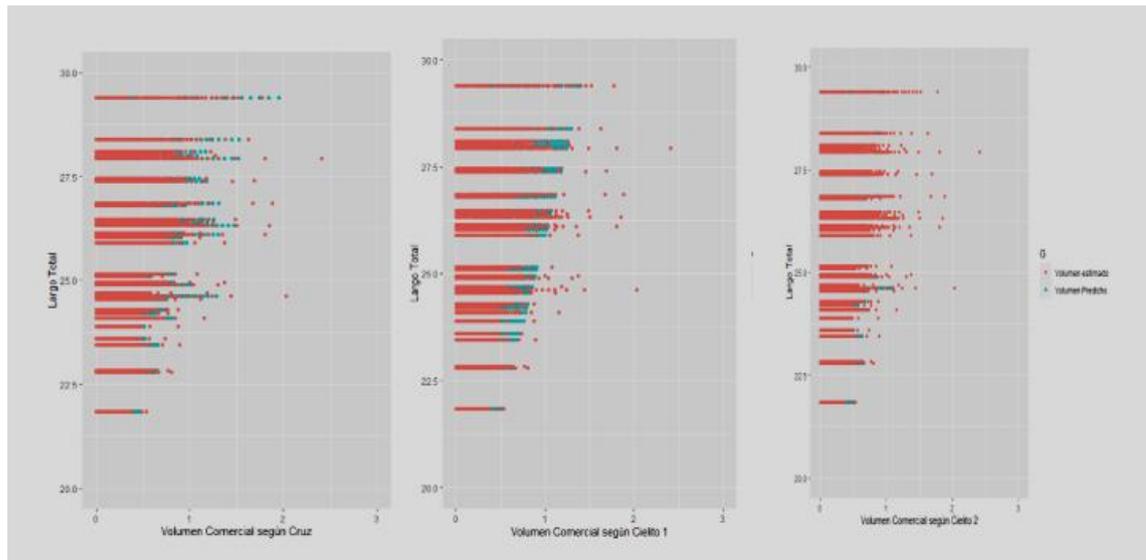
 							
ARBOL 2							
troza	altura	d.corteza	D.S corteza	VCC	VACC	VSC	VASC
0	0	32,56	30,09	0	0	0	0
1	0,5	29,11	27,37	0,03745457	0,03745457	0,03248652	0,03248652
2	1	27,51	26,05	0,03149824	0,06895281	0,02803320	0,06051973
3	1,5	26,51	25,08	0,02865879	0,09761160	0,02567484	0,08619457
4	2	25,58	24,29	0,02664692	0,12425852	0,02393522	0,11012978
5	2,5	24,89	23,7	0,02501196	0,14927048	0,02261346	0,13274324
6	3	24,22	23,1	0,02368212	0,17295260	0,02150617	0,15424941
7	3,5	23,72	22,59	0,02256541	0,19551801	0,02049728	0,17474669
8	4	23,3	22,18	0,02170700	0,21722501	0,01967934	0,19442603
9	4,5	22,72	21,6	0,02079515	0,23802016	0,01882035	0,21324638
10	5	22,6	21,52	0,02016428	0,25818444	0,01825404	0,23150041
11	5,5	21,62	20,56	0,01920661	0,27739105	0,01739311	0,24889353
12	6	21,26	20,12	0,01805261	0,29544366	0,01624847	0,26514200
13	6,5	21,13	19,9	0,01764131	0,31308497	0,01572415	0,28086615
14	7	20,52	19,43	0,01703425	0,33011922	0,01518832	0,29605448
15	7,6	20,19	19,13	0,01952594	0,34964516	0,01751788	0,31357235
16	8,25	19,49	18,48	0,02010119	0,36974634	0,01805841	0,33163077
17	8,8	19,59	18,57	0,01649319	0,38623953	0,01482421	0,34645498
18	9,3	19,32	18,48	0,01486426	0,40110379	0,01347655	0,35993153
19	9,85	19,09	18,1	0,01593297	0,41703676	0,01445196	0,37438349
20	10,35	18,18	17,12	0,01364512	0,43068188	0,01218750	0,38657100
21	10,85	18,3	17,3	0,01306515	0,44374703	0,01163144	0,39820244
22	11,3	17,21	16,22	0,01115200	0,45489903	0,00993805	0,40814048
23	11,9	16,72	15,85	0,01356561	0,46846464	0,01211817	0,42025865

24	12,3	16,5	15,52	0,00866779	0,47713243	0,00772978	0,42798843
25	12,8	16,18	15,28	0,01048590	0,48761833	0,00931382	0,43730224
26	13,2	16,08	14,89	0,00817378	0,49579210	0,00715012	0,44445236
27	13,8	15,15	14,3	0,01150032	0,50729243	0,01004215	0,45449451
28	14,5	14,75	13,84	0,01228989	0,51958232	0,01088660	0,46538111
29	15,1	14,9	14,1	0,01035718	0,52993950	0,00919754	0,47457864
30	15,6	13,75	13,11	0,00807139	0,53801089	0,00727833	0,48185697
31	16,1	13,51	12,52	0,00729601	0,54530690	0,00645249	0,48830946
32	16,7	13,31	12,48	0,00847467	0,55378157	0,00736313	0,49567258
33	17,3	13,01	12,22	0,00816224	0,56194381	0,00718825	0,50286083
34	17,9	12,1	11,29	0,00743780	0,56938161	0,00652177	0,50938260
35	18,3	12,29	10,91	0,00467240	0,57405401	0,00387189	0,51325449
36	18,8	11,09	10,2	0,00538061	0,57943462	0,00437993	0,51763443
37	19,3	10,48	9,72	0,00457138	0,58400600	0,00389790	0,52153233
38	19,9	10,12	9,1	0,00500090	0,58900690	0,00417726	0,52570959
39	20,45	10,08	8,7	0,00440653	0,59341343	0,00342335	0,52913294
40	20,85	9,12	8,19	0,00290253	0,59631596	0,00224256	0,53137550
41	21,35	7,6	7,01	0,00276724	0,59908320	0,00228190	0,53365740
42	21,85	6,09	5,81	0,00186234	0,60094554	0,00162766	0,53528507
43	22,35	5,72	5,47	0,00137065	0,60231619	0,00125029	0,53653536
44	22,9	5,18	4,92	0,00128620	0,60360239	0,00116907	0,53770443
45	23,3	4,37	3,75	0,00072146	0,60432385	0,00060113	0,53830555
46	23,85	3,17	2,63	0,00062950	0,60495335	0,00045312	0,53875868
47	24,35	2,03	1,73	0,00027822	0,60523158	0,00019458	0,53895326
48	24,95	0,1	0	0,00039421	0,60562579	0,00024399	0,53919725

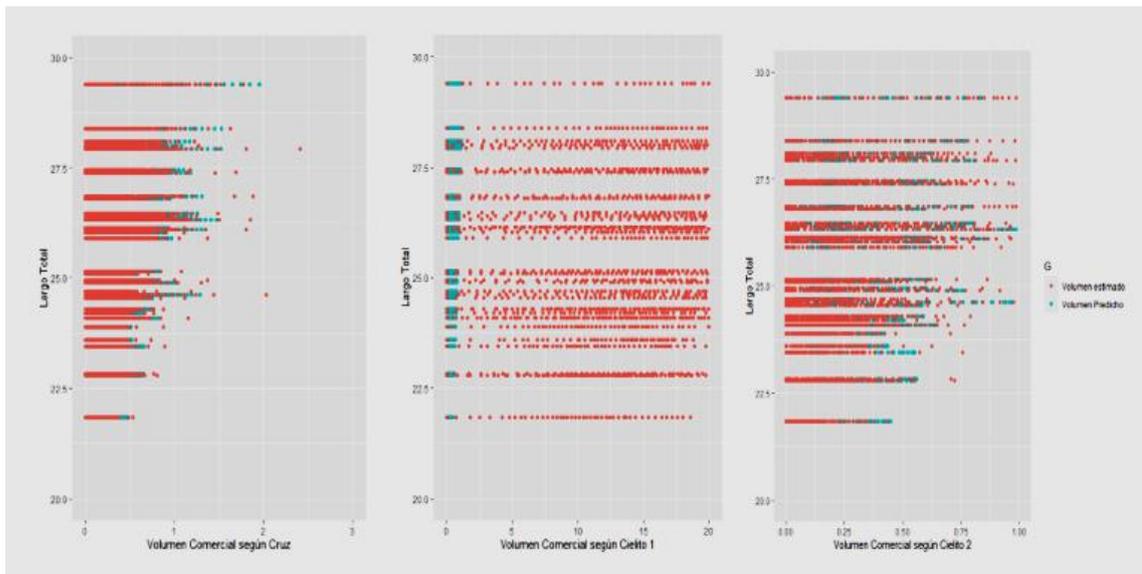
ANEXO C: BASE DE DATOS INGRESADA A R

	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB
1	DAP_m	hm	DCC_m	DCC	DCC_2	DCC_DAP	DCC_DAP_m	DSC_m	DSC	DSC_2 vtcc	vtcc	vtcc	vtcc	vtcc	H_hm_H	H_hm_H_2	H_hm_H_3	H_hm_H_4					
2	0,274	12,42	0,3256	32,56	1060,1536	1,412107198	0,014121072	0,3009	30,09	905,4	0,600648305	0,538202316	1,298301	1,1	0,50127	0,251272002	0,1259552	0,0158647					
3	0,273	13,43	0,3289	32,89	1081,7521	1,451451247	0,014514512	0,3059	30,59	935,7	0,653312545	0,573854315	1,458029	1,3	0,50956	0,259651522	0,1323081	0,0175054					
4	0,226	11,43	0,261650726	26,17	684,6110265	1,340377137	0,013403771	0,251	25,1	630	0,391176185	0,349122607	0,768278	0,7	0,49943	0,249430898	0,1245734	0,0155185					
5	0,3223	13,49	0,3778	37,78	1427,3284	1,374052404	0,013740524	0,3486	34,86	1215	0,913746371	0,79858042	1,848243	1,6	0,48751	0,237661143	0,115861	0,0134238					
6	0,293	13,55	0,356	35,6	1267,36	1,476266468	0,014762665	0,3331	33,31	1110	0,816037816	0,717479466	1,674963	1,5	0,49547	0,245490858	0,1216334	0,0147947					
7	0,2534	13,86	0,3538	35,38	1251,7444	1,949406618	0,019494066	0,311	31,1	967,2	0,579720991	0,505284887	1,688391	1,3	0,49427	0,244304972	0,1207531	0,0145813					
8	0,3133	15,02	0,3502	35,02	1226,4004	1,249428746	0,012494287	0,3402	34,02	1157	1,004295788	0,889156425	1,774964	1,7	0,48912	0,239234115	0,1170131	0,0136921					
9	0,291	13,17	0,3381	33,81	1143,1161	1,349908598	0,013499086	0,3156	31,56	996	0,731070125	0,592249652	1,489267	1,3	0,50265	0,252657656	0,1269985	0,0161286					
10	0,24	13,27	0,2928	29,28	857,3184	1,4884	0,014884	0,273	27,3	745,3	0,500030741	0,44159124	1,102503	1	0,49231	0,242371893	0,1193228	0,0142379					
11	0,301	14,31	0,4185	41,85	1751,4225	1,93311608	0,019331161	0,3593	35,93	1291	0,909800314	0,802388541	2,408302	1,8	0,48798	0,23812883	0,1162032	0,0135032					
12	0,2448	12,56	0,3342	33,42	1116,8964	1,863760333	0,018637603	0,313	31,3	979,7	0,544268383	0,460155713	1,370554	1,2	0,49663	0,246638672	0,1224875	0,0150032					
13	0,224	11,95	0,266	26,6	707,56	1,41015625	0,014101563	0,242	24,2	585,6	0,374479003	0,315139054	0,838495	0,7	0,50411	0,254124759	0,1281063	0,0164112					
14	0,168	12,35	0,312	31,2	973,44	3,448979592	0,034489796	0,3	30	900	0,410149755	0,368535039	1,182475	1,1	0,5	0,25	0,125	0,015625					
15	0,203	11,65	0,251	25,1	630,01	1,528816521	0,015288165	0,232	23,2	538,2	0,374566598	0,320277586	0,731007	0,6	0,50654	0,256578965	0,1299665	0,0168913					
16	0,262	12,81	0,328	32,8	1075,84	1,567274634	0,015672746	0,32	32	1024	0,692942329	0,611778342	1,370744	1,3	0,50528	0,255309457	0,1290032	0,0166418					
17	0,253	12,89	0,294	29,4	864,36	1,350372604	0,013503726	0,28	28	784	0,567639064	0,504993446	1,106854	1	0,5049	0,254927676	0,1287139	0,0165673					
18	0,308	12,28	0,409	40,9	1672,81	1,763377045	0,01763377	0,39	39	1521	0,693156592	0,604086405	2,026233	1,8	0,50122	0,251223501	0,1259187	0,0158555					
19	0,201	12,11	0,273	27,3	745,29	1,844731566	0,018447316	0,245	24,5	600,3	0,338309284	0,29145789	0,875831	0,7	0,49342	0,243459541	0,1201269	0,0144305					
20	0,215	12,25	0,253	25,3	640,09	1,384726879	0,013847269	0,238	23,8	566,4	0,37668675	0,336027592	0,764874	0,7	0,49572	0,245741682	0,1218199	0,0148401					
21	0,3	13,13	0,375	37,5	1406,25	1,5625	0,015625	0,367	36,7	1347	0,810950936	0,683306763	1,805641	1,7	0,49688	0,24688785	0,1226732	0,0150487					
22	0,239	12,57	0,304	30,4	924,16	1,617898846	0,016178988	0,297	29,7	882,1	0,490500695	0,4402194	1,115754	1,1	0,4879	0,23804401	0,1161411	0,0134888					
23	0,25	12,45	0,295	29,5	870,25	1,3924	0,013924	0,264	26,4	697	0,495492111	0,433756713	1,076504	0,9	0,50509	0,255113003	0,1288543	0,0166034					

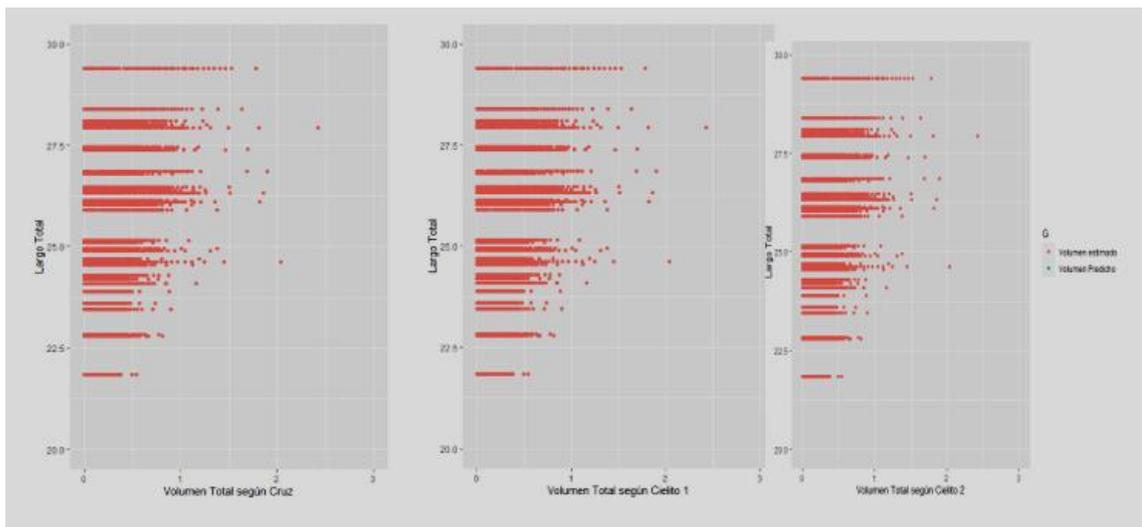
ANEXO D: VOLUMEN COMERCIAL CON CORTEZA POR SECCIÓN



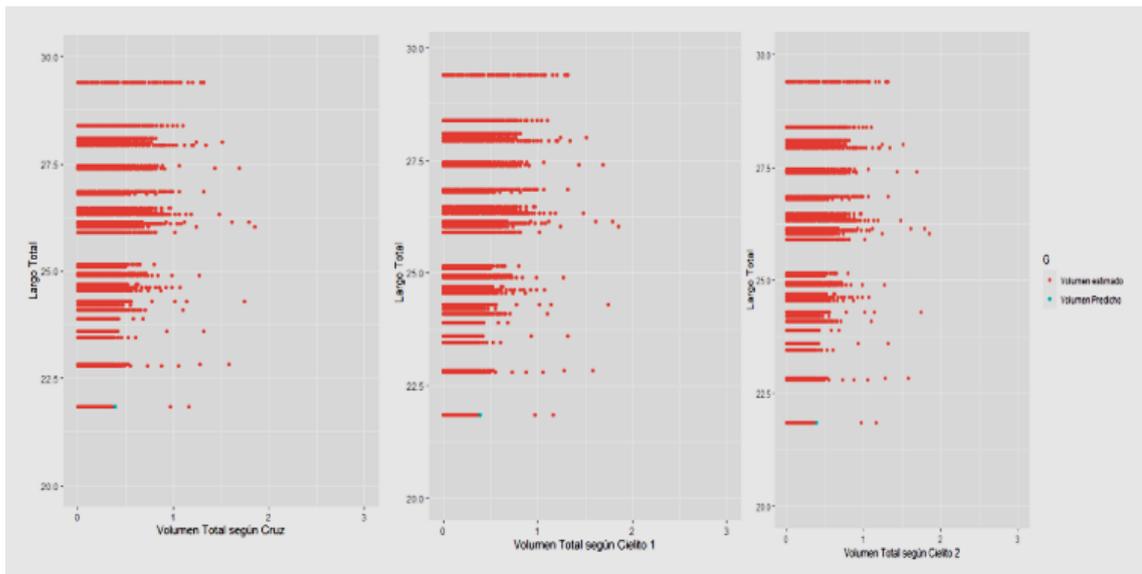
ANEXO E: VOLUMEN COMERCIAL SIN CORTEZA POR SECCIÓN



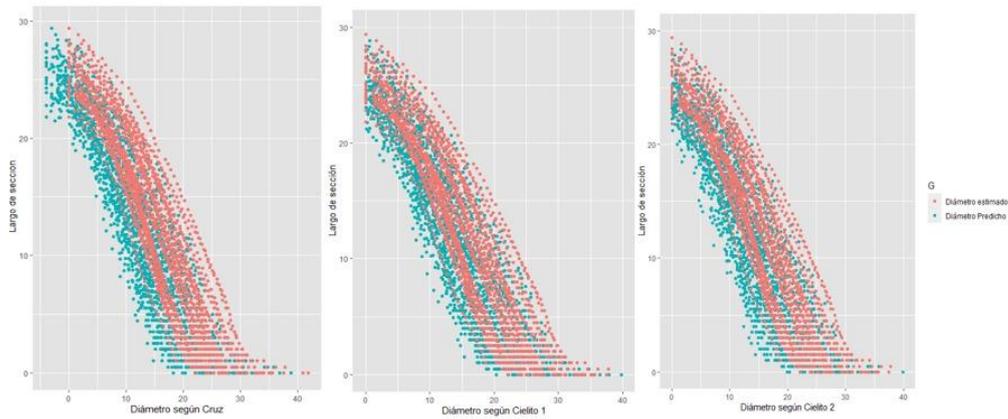
ANEXO F: VOLUMEN TOTAL CON CORTEZA POR SECCIÓN



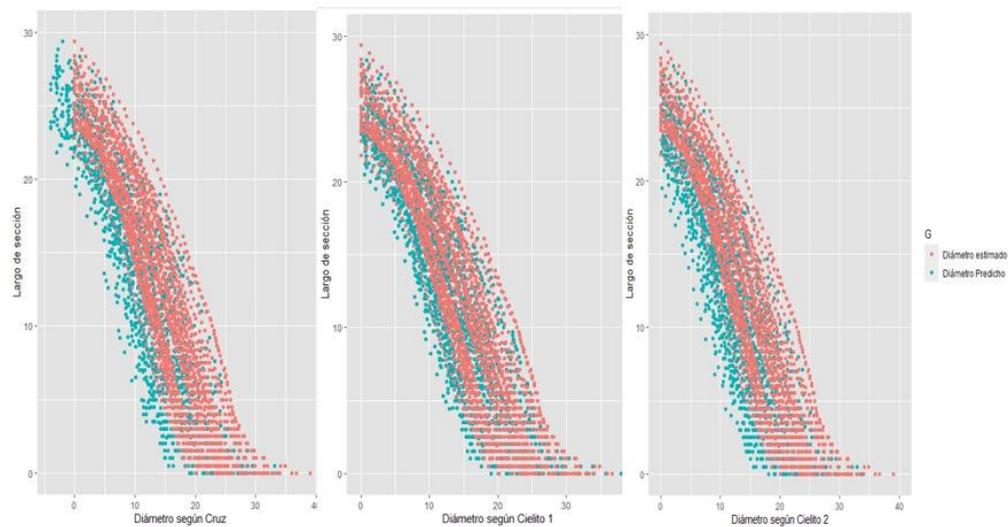
ANEXO G: VOLUMEN TOTAL SIN CORTEZA POR SECCIÓN



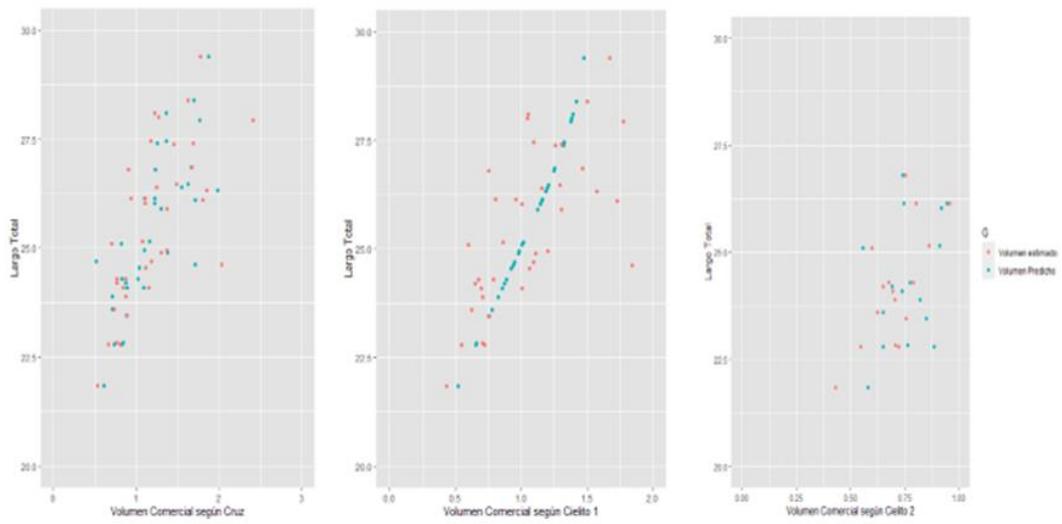
ANEXO H: AHUSAMIENTO CON CORTEZA



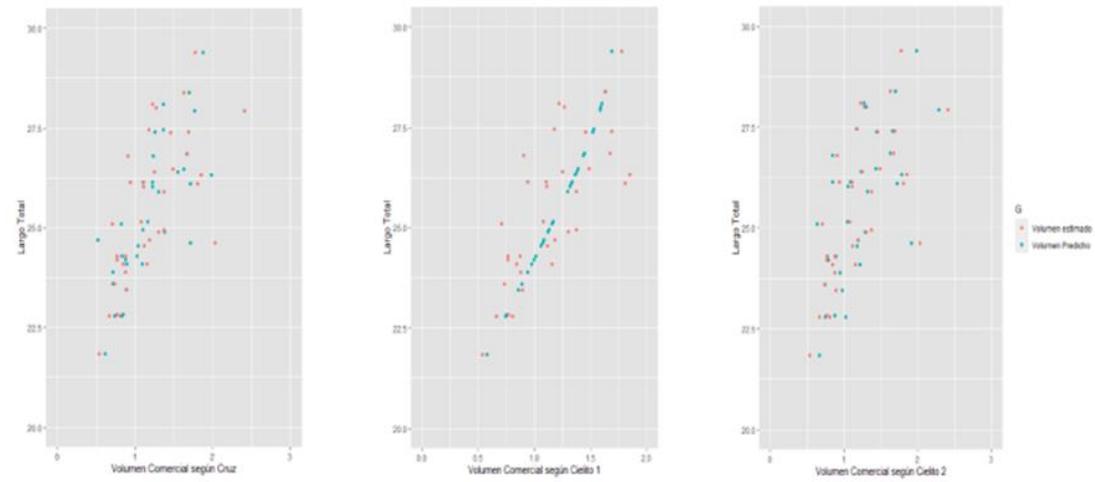
ANEXO I: AHUSAMIENTO SIN CORTEZA



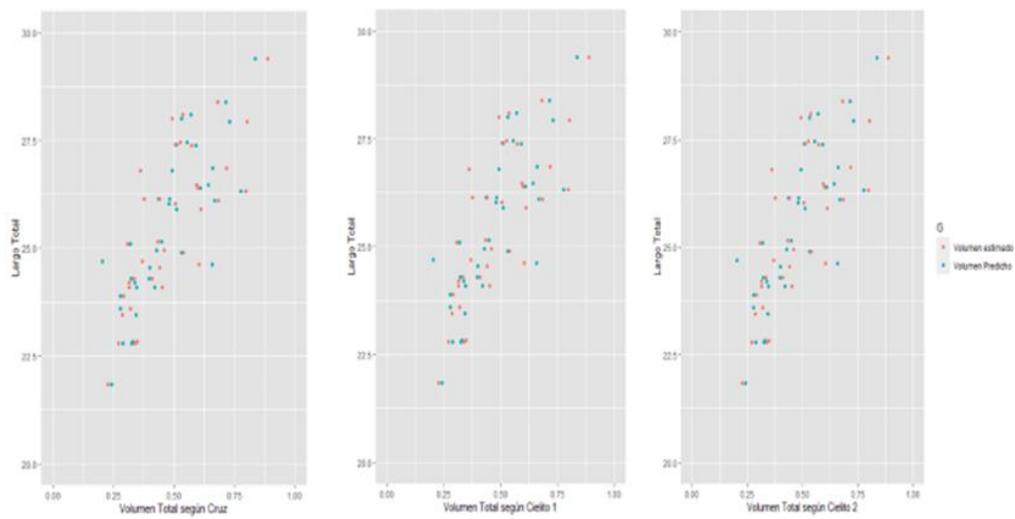
ANEXO J: VOLUMEN COMERCIAL CON CORTEZA



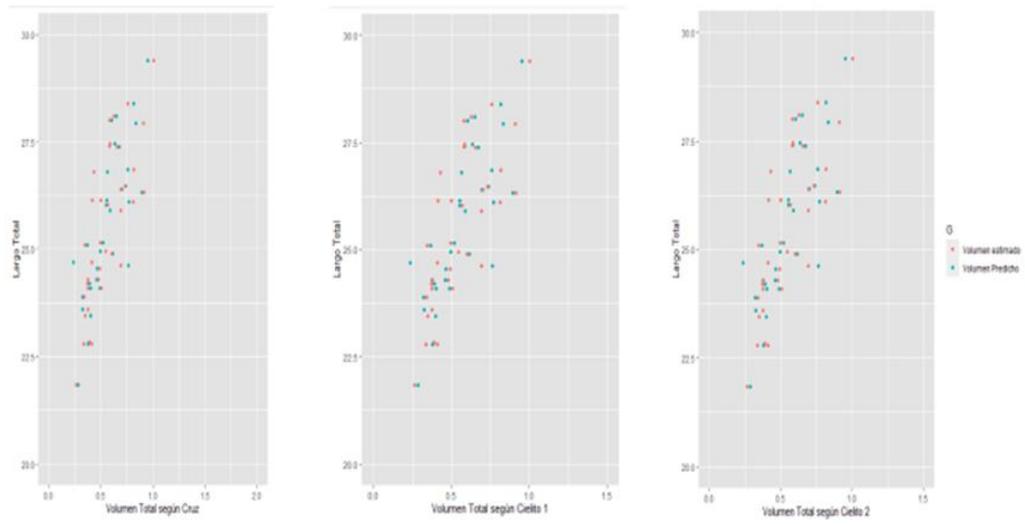
ANEXO K: SIN CORTEZA VOLUMEN COMERCIAL



ANEXO L: VOLUMEN TOTAL CON CORTEZA



ANEXO M: VOLUMEN TOTAL SIN CORTEZA





epoch

**Dirección de Bibliotecas y
Recursos del Aprendizaje**

**UNIDAD DE PROCESOS TÉCNICOS Y ANÁLISIS BIBLIOGRÁFICO Y
DOCUMENTAL**

REVISIÓN DE NORMAS TÉCNICAS, RESUMEN Y BIBLIOGRAFÍA

Fecha de entrega: 06 / 03 / 2023

INFORMACIÓN DEL AUTOR/A (S)
Nombres – Apellidos: Bryan Alvaro Pantoja Cuaspud
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Carrera de Ingeniería Forestal
Título a optar: Ingeniero Forestal
f. responsable: Ing. Cristhian Fernando Castillo Ruiz

D.B.R.A.I.
Ing. Cristhian Fernando Castillo



0398-DBRA-UTP-2023