



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

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE
***Eucalyptus saligna* (Eucalipto) EN UNA PLANTACIÓN FORESTAL**
COMERCIAL DEL SECTOR TAMBILLO BAJO, CANTÓN COLTA,
PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

TRABAJO DE TITULACIÓN
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN PARA TITULACIÓN DE GRADO

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL
TÍTULO DE INGENIERA FORESTAL

ACOSTA HURTADO FRANKLIN EDISSON

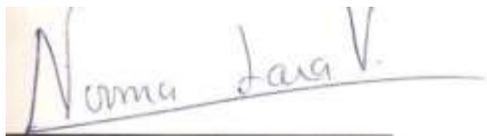
RIOBAMBA- ECUADOR

2018

HOJA DE CERTIFICACIÓN

EL TRIBUNAL DE TESIS CERTIFICA QUE: El trabajo de tesis titulado **DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) EN UNA PLANTACIÓN FORESTAL COMERCIAL DEL SECTOR TAMBILLO BAJO, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO**, de responsabilidad del Señor egresado Franklin Edison Acosta Hurtado, ha sido prolijamente revisado, quedando autorizado su presentación.

TRIBUNAL DEL TRABAJO DE TITULACIÓN



Ing. Norma Ximena Lara Vasquez Msc.

DIRECTOR.

13-12-2018

Fecha



Ing. Miguel Ángel Guallpa Calva

ASESOR.

13-12-2018

Fecha

RIOBAMBA-ECUADOR

2018

DECLARACIÓN DE AUTENTICIDAD

Yo Franklin Edison Acosta Hurtado, declaro que el presente trabajo de titulación es de mi autoría y que los resultados obtenidos son auténticos y originales. Los textos continuos en el documento que provienen de otra fuente están debidamente citados y referenciados. Como autor, asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este trabajo de titulación.

Riobamba, 13 de Diciembre del 2018

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Franklin Edison Acosta Hurtado', is written over a light-colored rectangular background.

Franklin Edison Acosta Hurtado

180434877-7

AUTORIA

El presente trabajo de titulación es de propiedad intelectual del autor y de la empresa Novopan del Ecuador S.A. conjuntamente con la Escuela de Ingeniería Forestal de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.



Franklin Edison Acosta Hurtado

180434877-7

DEDICATORIA

“Cada acontecimiento, grande y pequeño, es una parábola por medio de la cual Dios nos habla y el arte de vivir es recibir el mensaje”

Malcolm Muggeridge.

El presente trabajo de Titulación está dedicado a mis padres por todo el apoyo que me han brindado durante todo el tiempo de estudios, cuyo apoyo ha sido importante para cumplir todos mis propósitos.

A Dios por guiar mis pasos en toda mi vida, por darme la oportunidad de día a día aprender más de él y seguir su ejemplo de amor infinito hacia la sociedad.

A mis amigos, compañeros con los cuales conviví grandes vivencias, y que con sus consejos ayudaron en los momentos de austeridad.

A mis hermanos Jhon, Cinthia, Lucia, Anthony que son mi alegría y mis ganas de superación diaria.

Franklin Edisson Acosta Hurtado

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por brindarme salud y vida cada día, por protegerme y ser el ente supremo que guía, cuida y ama a toda mi familia.

Agradezco a mis queridos padres por tenerme mucho cariño y paciencia al cumplir mis metas.

Agradezco a mis docentes, gracias a sus conocimientos impartidos durante cada clase me han formado con muchos criterios humanísticos y de conocimientos.

Agradezco a mis compañeros de clase y amigos con quienes disfrutamos mucho al cumplir este sueño de formarnos como profesionales en el ámbito Forestal.

“Estén siempre alegres, oren sin cesar, den gracias a Dios en toda situación, porque esta es su voluntad para ustedes en Cristo Jesús”

Tesalonicenses 5:16-18

Franklín Edisson Acosta Hurtado

CONTENIDO	PAG.
LISTA DE TABLAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iii
LISTA DE ANEXOS.....	v
I. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE <i>Eucalyptus saligna</i> (EUCALIPTO) EN UNA PLANTACIÓN FORESTAL COMERCIAL DEL SECTOR TAMBILLO BAJO, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.....	1
II. INTRODUCCIÓN	1
A. Justificación	2
III. OBJETIVOS	3
A. Objetivo general.....	3
B. Objetivos específicos	3
IV. HIPÓTESIS	4
A. Hipótesis nula	4
B. Hipótesis alternante.....	4
V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	5
A. Descripción de la especie.....	5
B. Metodología para la determinación de factores de forma de especies forestales comerciales	8
C. Factor de forma.....	9
D. Volumen de madera	12
E. Ecuaciones de volumen	17
VI. MATERIALES Y METODOLOGIA.....	20
A. Características del lugar.....	20
B. Materiales y equipos.....	24
C. Metodología.....	23

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES.....	37
A. Volumen comercial en metros cúbicos.....	37
B. Factor de forma.....	43
C. Ecuaciones de volumen	44
VIII. CONCLUSIONES	63
IX. RECOMENDACIONES.....	64
X. RESUMEN	65
XI. SUMMARY.....	66
XII. BIBLIOGRAFIA	67
XIII. ANEXOS	71

LISTA DE TABLAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG.
Tabla 1.	Clasificación taxonómica del Eucalipto (<i>Eucalyptus saligna</i>).	5
Tabla 2.	Variables explicativas más empleadas en los ajustes de funciones de volumen ...	19
Tabla 3.	Ubicación Geográfica del área de estudio.	20
Tabla 4.	Características climáticas del área de estudio.	20
Tabla 5.	Clasificación Ecológica del sitio de estudio.	21
Tabla 6.	Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para el volumen real m ³	38
Tabla 7.	Análisis estadístico de la variable volumen real en metros cúbicos.	39
Tabla 8.	Análisis de la Varianza (ANOVA) de la variable volumen real.	40
Tabla 9.	Comparaciones múltiples entre métodos de cálculo de la variable volumen real.	41
Tabla 10.	Subconjuntos homogéneos.	42
Tabla 11.	Prueba de Kruskal-Wallis para los factores de forma encontrados.	43
Tabla 12.	Comparaciones múltiples entre métodos de cálculo de la variable factor de forma.	44
Tabla 13.	Coefficientes de correlación.	45
Tabla 14.	Ecuaciones propuestas para el cálculo de Volumen.	45
Tabla 15.	Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 1.	47
Tabla 16.	Análisis de varianza de la ecuación 1.	48
Tabla 17.	Cuadro de los coeficientes de la ecuación 1.	48
Tabla 18.	Estadísticas de regresión de la ecuación 1.	49
Tabla 19.	Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 2.	50
Tabla 20.	Análisis de varianza de la ecuación 2.	51
Tabla 21.	Cuadro de los coeficientes de la ecuación 2.	51
Tabla 22.	Estadísticas de regresión de la ecuación 2.	52

Tabla 23. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 3.	53
Tabla 24. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 4.	55
Tabla 25. Análisis de varianza de la ecuación 4.	56
Tabla 26. Cuadro de los coeficientes de la ecuación 4.	56
Tabla 27. Estadísticas de regresión de la ecuación 4.	57
Tabla 28. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 5.	58
Tabla 29. Análisis de varianza de la ecuación 5.	59
Tabla 30. Cuadro de los coeficientes de la ecuación 5.	59
Tabla 31. Estadísticas de regresión de la ecuación 5.	60
Tabla 32. Modelos matemáticos de predicción establecidos.	60
Tabla 33. Valores estimados del volumen comercial por los métodos en estudio.	61
Tabla 34. Cálculo de los errores relativos.	61

LISTA DE FIGURAS

N°	DESCRIPCIÓN	PAG.
Figura 1.	Gráfica de la función matemática de un sólido en revolución.	13
Figura 2.	Gráfica de la forma de los perfiles de cada sólido en revolución.	14
Figura 3.	Áreas circulares de una troza.	15
Figura 4.	Relación entre el volumen y una porción del área del dibujo.	16
Figura 5.	Mapa de ubicación de la plantación en estudio.	22
Figura 6.	Árboles seleccionados para el estudio.	24
Figura 7.	Medición del DAP.	24
Figura 8.	Tumba de árboles seleccionados.	25
Figura 9.	Medición de los diámetros en cada sección.	25
Figura 10.	Medición de la longitud.	26
Figura 11.	Formulario de campo.	27
Figura 12.	Hoja de ingreso de datos en Excel.	28
Figura 13.	Hoja de cálculo para el factor de forma mediante el método de Smalian.	29
Figura 14.	Hoja de cálculo para el factor de forma mediante el método de Newton.	31
Figura 15.	Cálculo del volumen individual en SolidWorks.	32
Figura 16.	Hoja de cálculo para el volumen individual mediante el método gráfico.	33
Figura 17.	Hoja de cálculo para el volumen individual mediante el método Testigo.	33
Figura 18.	Gráfico Q-Q Normal de volumen m ³	37
Figura 19.	Gráfica de Medias de la variable volumen real.	42
Figura 20.	Gráfica de medianas de la variable factor de forma.	44
Figura 21.	Volumen comercial por el método de Smalian en función del diámetro a la altura del pecho al cuadrado.	46

Figura 22. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.	47
Figura 23. Volumen comercial por el método de Smalian en función del producto de la altura comercial con el diámetro a la altura del pecho.....	49
Figura 24. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.	50
Figura 25. Volumen comercial por el método de Smalian en función del producto de la altura comercial con el diámetro a la altura del pecho al cuadrado.	52
Figura 26. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.	53
Figura 27. Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian en función de uno sobre el diámetro a la altura del pecho.....	54
Figura 28. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.	55
Figura 29. Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian en función del logaritmo natural del producto entre la altura comercial y el diámetro a la altura del pecho al cuadrado.....	57
Figura 30. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.	58

LISTA DE ANEXOS

Nº	DESCRIPCIÓN	PAG.
Anexo 1.	Base de datos para el cálculo del volumen real	71
Anexo 2.	Base de datos de las variables de predicción utilizadas dentro de las ecuaciones de volumen.	75
Anexo 3.	Base de datos del volumen comercial calculado a partir del dap y altura comercial de las 100 especies en estudio.....	79
Anexo 4.	Análisis descriptivo de los 9 métodos de cálculo a partir de su volumen comercial.	82
Anexo 5.	Coordenadas geográficas de cada árbol en estudio con el datum Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S.....	86

I. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) EN UNA PLANTACIÓN FORESTAL COMERCIAL DEL SECTOR TAMBILLO BAJO, CANTÓN COLTA, PROVINCIA DE CHIMBORAZO.

II. INTRODUCCIÓN

La contribución económica del sector forestal en el Ecuador ha estado determinada por la producción de bienes y servicios primarios o secundarios, en este caso madera aserrada o productos más elaborados como tableros, industria del papel y belleza escénica. De acuerdo al informe del Banco Central del Ecuador 2007, el aporte del sector forestal al Producto Interno Bruto por la actividad primaria de extracción de madera es de poco menor al 1%, la industrialización de la misma representa el 1.32%, en suma el aporte total directo al PIB del sector forestal es del 2.30% (Viteri & Cordero, 2010). Este aporte implica una mayor responsabilidad sobre el manejo cuantitativo de los recursos maderables.

El cálculo del volumen comercial juega un rol importante al momento de generar información cuantitativa sobre la disponibilidad, ordenación y tendencias de los recursos forestales. Para cumplir con esos compromisos, se requiere precisar la cuantificación y el monitoreo de los recursos forestales.

El factor de forma es una característica propia para cada especie en el cálculo del volumen comercial, según Ojeda (1983) en su estudio muestra que existen diferencias en cuanto a los valores del factor de forma entre la familia *Leguminosae* y *Lauraceae* llegando a un margen de contraste de 18.3%, lo que confirma que es importante en el proceso de datos usar factores de forma propios para cada familia y si fuera posible llegar a factores para cada especie (Aguilar, Sequeira, & Peralta, 2016). Por tal razón el Sistema de Producción Forestal (2014) establece la metodología para la determinación de factores de forma para especies forestales, el objetivo es establecer normas técnicas mediante las cuales se regulen la elaboración, aprobación, ejecución de los programas de corta y las licencias de aprovechamiento forestal.

Otra forma de calcular el volumen comercial es el empleo de los modelos matemáticos cuya importancia radica en la optimización de los recursos económicos y tiempo que demanda la

ejecución de un inventario forestal, disminuyendo así la tarea de medir un número muy importante de árboles. Mediante la estimación de los modelos matemáticos que relaciona la variable dependiente volumen comercial con una o varias variables independientes de fácil medición como por ejemplo diámetro a la altura del pecho, altura total, altura comercial, factor de forma, es la manera que se puede materializar de modo más eficiente.

A. Justificación

El conocimiento del volumen comercial maderero dentro de un rodal permite definir planes de desarrollo regional integrales que incluyen el crecimiento en el sector industrial forestal y de infraestructura productiva y apoyo a las comunidades rurales (camino forestales y caminos rurales). Ante la necesidad de extender la investigación del valor que representan los bosques para el ambiente y los sectores sociales involucrados. NOVOPAN S.A, empresa preocupada por la escasa investigación de la especie forestal en estudio en el ámbito Forestal, brinda las facilidades para realizar estudios dentro de sus instalaciones y plantaciones con la finalidad de contribuir al país en su desarrollo.

El *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) es una especie de gran adaptabilidad y rápido crecimiento, cuya madera es pesada y fácil de aserrar, desarrolla fustes rectos, actualmente no existen estudios que determinen el factor de forma de esta especie, por ende, el cálculo de volumen de la especie en estudio con otros factores de forma podría presentar imprecisiones.

La finalidad de la investigación es precisar el cálculo del volumen comercial del *Eucalyptus saligna* dentro de los inventarios forestales futuros, al determinar un factor de forma que se ajuste a su forma estructural de la especie en estudio.

III. OBJETIVOS

A. Objetivo general

Determinar el factor de forma de la especie *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) en una plantación forestal comercial del sector Tambillo bajo, cantón Colta, provincia de Chimborazo.

B. Objetivos específicos

1. Realizar un análisis comparativo del cálculo de volumen real por secciones para la estimación del factor de forma de la especie *Eucalyptus saligna*.
2. Verificar el volumen calculado con los factores de forma estimados mediante ecuaciones de volumen de una y doble entrada para la especie en estudio.

IV. HIPÓTESIS

A. Hipótesis nula

El factor de forma es igual a 0.70 en la especie *Eucalyptus saligna*.

B. Hipótesis alternante

El factor de forma es diferente a 0.70 en la especie *Eucalyptus saligna*.

V. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

A. Descripción de la especie

1. Clasificación Taxonómica

Tabla 1. Clasificación taxonómica del Eucalipto (*Eucalyptus saligna*).

Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Rosidae
Orden	Myrtales
Familia	Myrtaceae
Subfamilia	Myrtoideae
Género	<i>Eucalyptus</i>
Especie	<i>Eucalyptus saligna</i>

Fuente: (Juela, 2015)

El género *Eucalyptus* fue descrito y nombrado en 1788 por los franceses botánicos L'Héritier. Las flores del género *Eucalyptus* están protegidas por un opérculo, de ahí el nombre genérico, que proviene de las palabras griegas '*Eu*' (bien) y '*calyptos*' (cubierto).

2. Descripción botánica

El *Eucalyptus saligna* se considera una especie perennifolia, de 20 a 30 metros de altura, de corteza lisa descascarante, algunas veces persistente en la base, de color grisáceo o blanco-azulado. Sus hojas son simples, lanceoladas de ápice alargado, coriáceas, con leve olor de cineol, verdes, mucho más claras en la cara de abajo, con numerosas glándulas de aceite esencial y nervadura principal amarillenta y bastante destacada, de 10-20 cm de longitud, con

pecíolo morado o amarillento de 1,5 a 3,0 cm. Las hojas contienen un 1% de aceite esencial. Los frutos son cápsulas, leñosos, de forma cónica, de 5-8 mm de diámetro, con 3-5 valvas ejercidas (salientes), conteniendo semillas diminutas, oscuras y angulosas. Su madera es de color rojo claro, con una densidad de 690 kg/m³, de buena calidad, fácil de trabajar en operaciones de mecanizado, además de presentar un buen acabado (Sadame, 2016).

Mientras que Fernandez & Silva (2016) describen a la especie como un árbol que puede alcanzar hasta 55 metros de altura; de corteza lisa, blanca o gris azulada o parda, desprendiéndose en tiras. Hojas juveniles alternas, ovadas a anchamente lanceoladas, discoloras. Hojas adultas lanceoladas, discoloras, de 14-17 cm de largo por 2,5-3 cm de ancho; pecíolo acanalado, de 15-25 mm de largo. Umbelas de 7-11 flores; pedúnculo aplanado, de 4-18 mm de largo; pedicelos ausentes o de hasta 3 mm, angulares. Yemas fusiformes u ovoides.; opérculo cónico, de 3-4 mm de ancho y largo; hipanto hemisférico, cilíndrico o campanulado, de 2-3 mm de largo por 3-4 mm de ancho. Frutos cilíndricos, campanulados o subpiriformes, de 5-8 mm de largo por 5-6 mm de ancho; disco descendente; valvas 3 o 4, exertas.

3. Hábitat

El *Eucalyptus saligna* es originario de Australia, su principal área de ocurrencia se sitúa en una franja de 120 km a lo largo de la costa, extendiéndose desde New South Wales hasta el sur de Queensland. Además, se encuentra también de forma dispersa y aislada en el este de Queensland. La latitud en sus lugares de origen varía de 21 a 36 ° S y la altitud varía entre el nivel del mar hasta cerca de 1100 msnm. El clima es templado al sur y subtropical al norte y la especie se desarrolla mejor en suelos aluviales de buena calidad, del tipo areno-limoso. Otros suelos son los arcillosos y los de origen volcánico. En general, los suelos del área de origen poseen buena capacidad de retención de agua, pero son bien drenados (Boland, Brooker, Chippendale, Hall, & Hyland, 1984).

Según Jovanovic & Booth (2002), las exigencias climáticas para *E. saligna* sobre la base de la región de ocurrencia natural ya partir de observaciones en diversos países están delimitadas por precipitación media anual entre 700 a 2300 mm, temperatura media de las máximas entre

23°C y 34°C, temperatura media de las mínimas entre -1°C y 17°C y una temperatura media anual de 10°C a 22°C, con un período de hasta 6 meses sin lluvias. Es indicado para lugares con hasta ocho heladas anuales (FAO, 1981).

Siendo este parámetro extendido hasta 50 heladas cuando se utilizan fuentes de semillas de procedencias de la región meridional de ocurrencia en Australia, como Yarboro State Forest, en Nueva Gales del Sur. En un estudio realizado por Arnold, Clarke, & Luo (2004) el *E. saligna* exhibió buena tolerancia al frío en China, pues la temperatura mínima que la especie soportó fue de 10 ° C. Sin embargo, vale resaltar la amplia y significativa variación entre las procedencias geográficas.

4. Importancia económica

El *Eucalyptus saligna* es la especie de más rápido crecimiento en Hawaii, donde el IMA de 42 m³ se obtiene comúnmente, y las mejores parcelas sin fertilizantes producen 50 m³. Es la especie más largamente plantada en Brasil, donde el promedio nacional estimado del IMA para especies de eucaliptos mixtas se dice ser de 18 m³ (FAO, 1981).

Además, esta especie posee una trascendencia económica tanto en la industrialización como en la exportación de productos madereros. Es ampliamente utilizada para plantaciones forestales con fines comerciales, ya que representa una buena alternativa para pequeños productores de leña, poste o madera para aglomerado en rotaciones cortas. Su buena poda natural disminuye los costos de manejo en plantaciones. La madera es fina y muy cotizada en el mercado local (Ecuador Forestal, 2009).

Según Restrepo & Alviar (2010) el *Eucalyptus saligna* es una especie de rápido crecimiento que posee una gran cantidad de usos, entre los que se encuentra la elaboración de pasta de celulosa para la industria papelera, y múltiples usos en la industria farmacéutica en la creación de antiinflamatorios, antisépticos, antiespasmódicos y antidiabéticos. Además, facilita la producción de miel a través de las flores, el control de la erosión mediante el uso de plantaciones, entre otros.

B. Metodología para la determinación de factores de forma de especies forestales comerciales

El Ministerio de Agricultura asume la competencia de regulación de plantaciones forestales y su manejo sustentable con fines comerciales establecidos en la Ley Forestal y de Conservación de Áreas Naturales y Vida Silvestre, mediante Decreto Ejecutivo No. 286 de fecha 3 de abril de 2014 (Ecuador Forestal, 2014).

En ejercicio de las competencias transferidas se emitieron normas técnicas para la elaboración, aprobación y ejecución de los programas de corta, las licencias de aprovechamiento forestal y las guías de circulación de plantaciones forestales comerciales. Se genera el manual para la determinación de factores de forma de especies forestales comerciales, con la finalidad de establecer los lineamientos para determinar los factores de forma de especies forestales que ajustarán el cálculo y estimación del volumen por árbol, por hectárea y total de las plantaciones forestales. Esta metodología permite determinar factores de forma para el aprovechamiento maderero (Sistema de Producción Forestal, 2014).

1. Selección de árboles

Según el Sistema de Producción Forestal (2014) se seleccionan 100 árboles representativos para el muestreo en cada sitio, los árboles sin deformaciones en el fuste y que no presenten bifurcaciones serán objeto del estudio.

2. Medición del diámetro a la altura del pecho.

Según el Sistema de Producción Forestal (2014) se toma el diámetro a 1,30 metros del suelo (D130) y se marca con pintura de color rojo donde se realiza la medición.

3. Medición de los diámetros en cada sección:

Para la medición de los diámetros en cada sección el Sistema de Producción Forestal (2014) establece:

- a. Realizar una medición de la longitud ($L=x$) que corresponde a ($L_0=130-A_1-A_2$) desde la marca del D130 hacia donde comienza el D1
- b. Realizar mediciones de seccionamiento cada 2.0 m iniciando a partir de la primera marca (D1) hasta llegar al diámetro mínimo comercial (D_c), en cada punto de seccionamiento se realizará marcas de pintura.
- c. Luego de haber realizado el seccionamiento con marcas de pintura se procede a medir con cinta los diámetros de cada sección.
- d. En el diámetro de cada sección serán medidos hasta llegar al diámetro mínimo comercial (D_c).

4. Medición de los diámetros en secciones donde se encuentran nudos:

El Sistema de Producción Forestal (2014) determina en la actividad de medición de los diámetros de cada sección que se encuentren nudos que impedirán la correcta lectura, se proceda de la siguiente manera: se moverá hacia la parte superior o hacia la parte inferior del nudo teniendo como restricción de la marca de los 2.00 m está más cerca de la terminación del defecto.

5. Medición de la altura total:

Una vez cortado y realizado las marcas respectivas al árbol, se procede a medir la longitud desde el D1 hasta llegar a la punta del mismo y su altura corresponde a la sumatoria de $Alt=Longitud+A_2+A_1$ (Sistema de Producción Forestal, 2014).

C. Factor de forma

1. Definiciones

El factor de forma es una característica específica de cada especie (Aguilar, Sequeira, & Peralta, 2016), pero la Dirección de Desarrollo Forestal (DDF) ha establecido utilizar un valor de 0.70 para todas las especies a nivel nacional en Ecuador siendo un valor estándar (Unidad de inventarios forestales y plantaciones agroforestales UIFPA, 2017).

Para definir la forma del fuste se calcula al dividir el volumen real con el volumen del cilindro de referencia (producto del área basal y la altura). El factor individual de forma varía con las dimensiones del fuste, con la especie y también difiere de árbol a árbol (Aguilar, Sequeira, y Peralta, 2016).

El factor de forma se obtiene del cociente entre el volumen real del árbol y el volumen de un cuerpo geométrico de referencia, cuyas dimensiones corresponden a las dimensiones generales del árbol como el diámetro a la altura del pecho y su altura (Cancino, 2012). Al volumen del sólido de referencia también se le denomina volumen aparente. La fórmula matemática es la siguiente:

$$ff = \frac{v_r}{v_s}$$

Donde:

ff : El factor de forma;

v_r : El volumen real del fuste;

v_s : El volumen del sólido de referencia

Dependiendo de la forma asumida para el sólido de referencia se obtienen factores de forma cilíndricos, parabólicos, cónicos o neiloidicos, siendo el factor de forma cilíndrico el de uso más habitual. La utilidad del factor de forma es evidente. Conocido su valor, es fácil derivar el volumen de un árbol mediante:

$$v_r = v_s * ff$$

Siendo:

ff : El factor de forma;

v_r : El volumen real del fuste;

v_s : El volumen del sólido de referencia.

Al determinar el coeficiente de forma por cualquier de los procedimientos citados se precisan las cubicaciones. El valor de los coeficientes de forma en el fuste generalmente es menor que la unidad (Romanh & Ramirez, 2010).

2. Factor de forma artificial

La expresión de la forma de un árbol representada por el factor de forma depende de cómo se defina el sólido de referencia. Cuando el sólido de referencia adquiere las dimensiones definidas por la altura total y el dap del árbol, el factor de forma es afectado por el tamaño del árbol. Debido a que la medición del dap se realiza siempre a una altura de 1.3 metros del suelo, independientemente de la altura total del árbol. En tal virtud, aunque dos árboles tengan la misma forma, pero diferente tamaño, el factor de forma adquirirá valores diferentes. También puede ocurrir que dos árboles con igual factor de forma, no posean igual forma (Cancino, 2012). Este factor de forma recibe el nombre de factor de forma artificial, quedando definido de la siguiente manera cuando el sólido de referencia es un cilindro:

$$ff = \frac{v_r}{g_{1.3} * h}$$

Donde:

ff : Es el factor de forma;

v_r : Es el volumen real del fuste;

$g_{1.3}$: Es el área de sección normal del fuste a 1.3 metros del suelo (area basal individual);

h : La altura del árbol.

3. Factor de forma natural

El factor de forma natural o de Hohenadl en honor a quien propuso la forma para su obtención, elimina la influencia del tamaño del árbol sobre el factor de forma, al medir el diámetro para el sólido de referencia a un porcentaje de la altura total del árbol. Así, el diámetro se obtiene a la misma altura relativa en árboles de diferente altura (Cancino, 2012). El factor de forma natural cilíndrico se obtiene de la relación siguiente:

$$ff_{0.1h} = \frac{v_r}{g_{0.1h} * h}$$

Donde:

ff : Es el factor de forma;

v_r : El volumen real del fuste;

$g_{1.3}$: El área de sección fustal a un décimo de la altura total;

h : La altura del árbol.

D. Volumen de madera

1. Definiciones

El volumen de madera es la medida de la cantidad de madera sólida más ampliamente utilizada y se expresa en metros cúbicos. En el árbol individual pueden identificarse diferentes categorías de volumen de madera. El árbol completo es considerando por todos sus componentes, constituyéndose el volumen total de madera; todos aquellos componentes cuyas dimensiones son aceptables para el mercado constituyen el volumen comercial de madera; también existe la denominación de volumen bruto de madera, cuando se estima el volumen total de madera hasta un diámetro comercial, Esos volúmenes pueden expresarse con o sin corteza (Cancino, 2012).

El volumen de madera en pie es un indicador de los recursos madereros disponibles y sirve además para calcular la cantidad de carbono acumulada (GreenFacts, 2018).

2. Cubicación de trozas

Para las cubicaciones comerciales de fustes o de trozas, se han ideado procedimientos más sencillos que el de la utilización de las fórmulas que nos proporcionan los volúmenes de los tipos dendrométricos o de sus truncados, con diversos grados de precisión suficientes para este tipo de operaciones, entre los que se pueden mencionar los basados en la utilización de las fórmulas de Smalian, Huber y Newton, y los de Kuntze, Heyer o Simpson, éstas tres

últimas para la determinación de volúmenes de fustes o de trozas con mayor precisión (Romanh & Ramirez, 2010).

3. Fórmulas volumétricas

Las formulas volumétricas al considerar al árbol semejante a un prototipo geométrico determinan el volumen del fuste; sin tomar en cuenta su forma real; y se pueden aplicar en arboles apeados o en pie (Imaña, 1998). Con el fin de estudiar el comportamiento matemático de estas fórmulas, se admite que la forma del fuste puede asimilarse a un sólido en revolución, que surge al hacer rotar una función matemática alrededor del eje de las X (Wabo, 2002).

Los cuatro modelos utilizados se generan por la rotación alrededor del eje X de la siguiente función:

$$y = k\sqrt{x^r}$$

Donde:

y : Es el radio del sólido a la distancia;

k, x : Son constantes de amplitud;

r : El parámetro que define la forma de la curva;

La rotación alrededor del eje x de una línea recta $f(x) = b$, originar en un cono se representa en la siguiente figura:

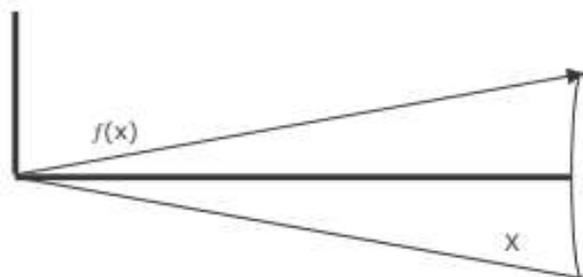


Figura 1. Gráfica de la función matemática de un sólido en revolución.

Fuente: (Wabo, 2002).

En la siguiente figura se describen la forma de los perfiles y los valores r asociados en la formula descrita, para cada de uno de los cuatro modelos o sólidos en en revolución

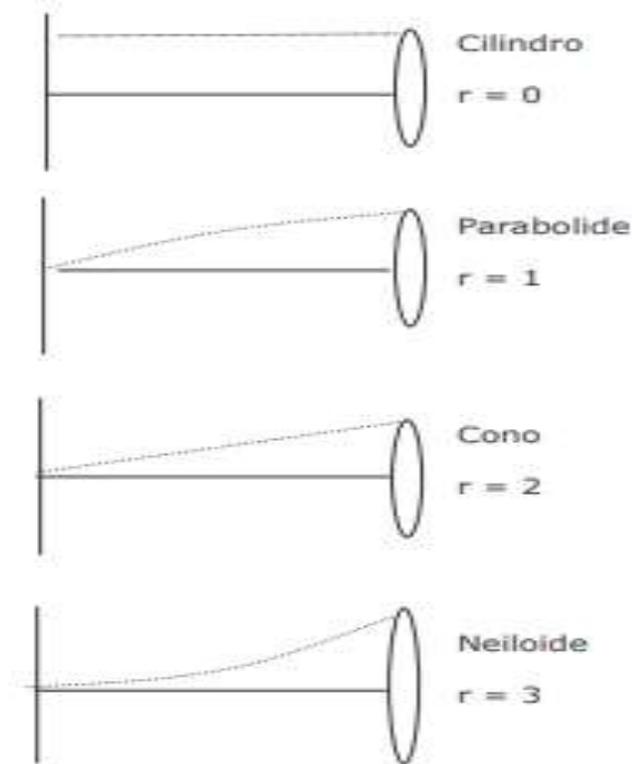


Figura 2. Gráfica de la forma de los perfiles de cada sólido en revolución.

Fuente: (Wabo, 2002).

La función $y = k\sqrt{x^r}$ expresa el radio del sólido en función de la distancia desde el origen (Wabo, 2002).

Según Riaño & Lizarazo (2017) las fórmulas tradicionales para el calculo del volumen mas utilizadas son las siguientes:

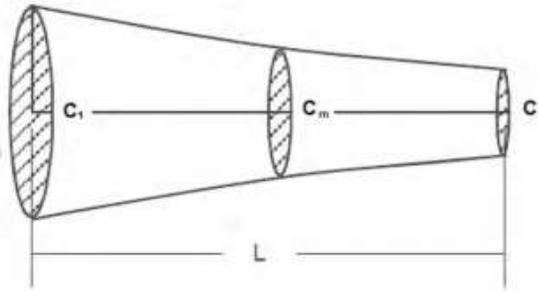


Figura 3. Áreas circulares de una troza.

Fuente: (Riaño & Lizarazo, 2017)

a. Formula de Smalian

Aparece en 1806. Se deben evaluar las áreas de las secciones extremas \$C_1\$ y \$C_2\$ y su longitud.

El volumen se valora mediante la expresión:

$$V_s = \frac{\pi}{4} \left[\frac{C_1^2 + C_2^2}{2} \right] L$$

Donde:

\$V_s\$: es el volumen por el cálculo de Smalian;

\$\pi\$: es Pi (3.1415...);

\$C_1^2\$: es el área de sección fustal al inicio de la troza;

\$C_2^2\$: es el área de sección fustal al final de la troza;

\$L\$: es la longitud del fuste o troza.

b. Formula de Newton

Riecke (1940) generaliza la fórmula propuesta por Then. Se aplica a un mayor número de cuerpos geométricos. Para la estimación del volumen se emplea:

$$V_N = \frac{\pi}{4} \left[\frac{C_1^2 + 4C_m^2 + C_2^2}{6} \right] L$$

Donde:

V_N : Es el volumen por el cálculo de Newton;

π : Es Pi (3.1415...);

C_1^2 : Es el área de sección fustal al inicio de la troza;

C_m^2 : Es el área de sección media fustal de la troza;

C_2^2 : Es el área de sección fustal al final de la troza;

L : Es la longitud del fuste o troza.

4. Método gráfico para el cálculo de volumen

El método gráfico se establece al medir diámetros a distintas alturas del fuste y se determinan las áreas transversales correspondientes. Las áreas transversales se grafican en función en la altura de ubicación, se proyecta una curva la cual sigue la tendencia de los puntos. Se mide el área encerrada por la curva; antiguamente se usaba el planímetro actualmente se pueden usar programas de pc (Wabo, 2002).

El área medida debe ser convertida a volumen. Por tal razón se debe establecer una relación entre el área del gráfico con el volumen del cuerpo. La siguiente gráfica es un ejemplo (Imaña, 1998):

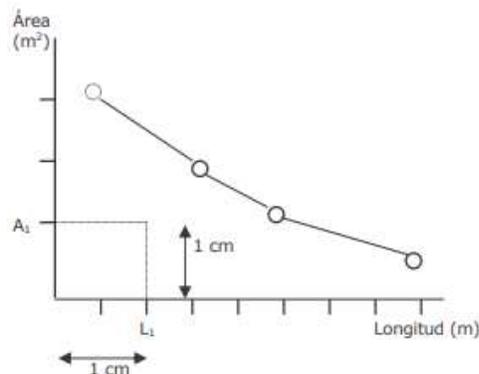


Figura 4. Relación entre el volumen y una porción del área del dibujo.

Fuente: (Wabo, 2002)

El volumen en metros cúbicos representado: $V_G = A_1 * L_1$ (m) se da por el producto entre los valores $A_1 * L_1$.

Donde:

A_1 : Es el area basal del fuste,

L_1 : Es la longitud del fuste.

El volumen sera proporcional al area total bajo la curva, el volumen se relaciona directamente a un cuadrado de superficie de 1 centímetro cuadrado como muestra la Figura 4.

E. Ecuaciones de volumen

1. Definición

Los términos tablas de volumen o ecuaciones de volumen deben aceptarse como equivalentes ya que el cálculo actual, tanto en sus procedimientos como logística y uso final, hacen más adecuado el manejo de ecuaciones, que las tablas tradicionales. La ecuación de volumen se define como una función matemática estadística que expresa el volumen de un árbol (o un rodal) con base en otros parámetros. El volumen, fundamentalmente, se considera en función de un diámetro de referencia d_{ap} , además de alguna medida de la longitud del fuste H (Lema, 1995).

Una tabla de volumen resulta de la agrupación de datos, producto de la toma de datos y procesamiento de las mismas, para cubicación de árboles y rodales en base a ciertos parámetros que deben tomarse en el terreno, los cuales se correlacionan con los de la tabla (Kometter & Maravi , 2007). Para su construcción se acude a métodos gráficos y métodos matemáticos, y de acuerdo a lo que se pretenda mostrar con ellas se llaman de volumen total, de volumen comercial, de volumen con o sin corteza, etc. De acuerdo al número de variables que involucren se denominan como de una, dos, etc/entradas (Barrios , López, & Nieto, 2014).

Morás (2010) estipula que la ecuación de volumen debe contener información acerca de diferentes aspectos de su construcción y aplicación, por cualquier método utilizado en su construcción. Esa información comprende (Morás, 2010):

- a.** La especie o grupos de especies para las cuales es aplicable la tabla.

- b. El tipo de volumen predicho y unidades en que se expresa.
- c. Las variables independientes utilizadas y sus unidades de medida.
- d. El nombre del autor.
- e. La fecha de elaboración.
- f. El número de árboles con que se construyó la tabla.
- g. La extensión o rango de cada variable independiente.
- h. La zona para la cual fue inicialmente desarrollada.
- i. El método para estimar el volumen de los árboles individuales.
- j. El método de construcción de la tabla.
- k. una medida apropiada de exactitud.

Las ecuaciones de volumen proporcionan tabulaciones que expresan el volumen medio de los árboles de diversas dimensiones, con base en dos entradas principales, generalmente el diámetro y la altura (Aguilar & Velarde , 2001)

2. Variables de predicción utilizadas

Morrás (2010) indica que las variables que se incluirán en la función de volumen deben ser fácil de medir y poco numerosas, que la correlación de éstas con la variable dependiente sea fuerte y que estén débilmente correlacionadas entre sí, para que el poder explicativo de una variable persista cuando las otras se introduzcan en el modelo.

Según Bruce & Schumacher (1965) las tres características esenciales para seleccionar las variables independientes con mayor precisión y facilidad son las siguientes:

- a. Estar muy relacionada con la variable dependiente.
- b. Ser indiferente en relación con las demás variables independientes que vayan a utilizarse
- c. Ser indiferente en relación con las demás variables independientes que vayan a utilizarse

Tabla 2. Variables explicativas más empleadas en los ajustes de funciones de volumen

Variable	Tipo
	DAP
Diámetro	DAP ²
	1/DAP
Altura	H
	H ²
Diámetro-Altura	H*DAP
	H*DAP ²
	H ² *DAP

Fuente: (Morás, 2010)

Las variables explicativas más empleadas se muestran en la tabla 2, cuyas variables se incluyen en la función de volumen, la correlación de éstas con la variable dependiente sea fuerte y que estén débilmente correlacionadas entre sí, para que el poder explicativo de una variable persista cuando las otras se introduzcan en el modelo (Caillez, 1980).

3. Métodos para encontrar las ecuaciones de volumen

El análisis de regresión es una técnica estadística que se emplea para construir las ecuaciones de volumen, ajustando alguna relación matemática que de acuerdo con la dependencia entre las variables se puede predecir una con respecto a la otra, a una confiabilidad aceptable (Morás, 2010).

VI. MATERIALES Y METODOLOGIA

A. Características del lugar

1. Localización

La presente investigación se desarrolló en una plantación forestal de 17.6 hectáreas ubicada en el sector Tambillo Bajo, cantón Colta, provincia de Chimborazo.

2. Ubicación Geográfica

Tabla 3. Ubicación Geográfica del área de estudio.

DATUM	Latitud	Longitud	Altitud
Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S, DATUM	721653	9792934	2076 msnm.

Fuente: (Acosta, F. 2018)

Los puntos georreferenciales de cada árbol en estudio con el datum Coordenadas Proyectadas UTM Zona 17S, DATUM WGS 84 se presentan en el Anexo 5.

3. Características climáticas

Tabla 4. Características climáticas del área de estudio.

Temperatura media anual	Precipitación media anual:	Humedad relativa anual:
13,5°C	1186.42 mm	61.26% máxima
		51.29% mínima

Fuente: (INAMHI; MAG; CGSIN, 2013)

4. Clasificación Ecológica

Tabla 5. Clasificación Ecológica del sitio de estudio.

Clasificación	Formación vegetal / ecosistema
MINISTERIO DEL AMBIENTE. 2012.	Bosque siempre verde montano del Norte de la cordillera oriental de los Andes

Fuente: (MINISTERIO DE AMBIENTE DEL ECUADOR, 2012)

La propiedad del señor Segundo Verdezoto presentó las siguientes características:

- a) Fisonomía: Plantación forestal comercial de *Eucaliptus saligna* es la especie dominante, también existen especies codominantes de la familia *Solanaceae*, *Myrsinaceae*.
- b) Edad de la plantación: 23 años
- c) Bioclima: pluvial
- d) Biogeografía: Región: Andes, Provincia: Andes del Norte, Sector: Norte de la Cordillera Oriental de los Andes
- e) Piso bioclimático: Montano (2000-3000 msnm), Termotipo (It): mesotropical
- f) Pendiente del terreno: pendiente poco pronunciada
- g) Textura del Suelo: Franco-arenosa.
- h) Régimen de Inundación: no inundable

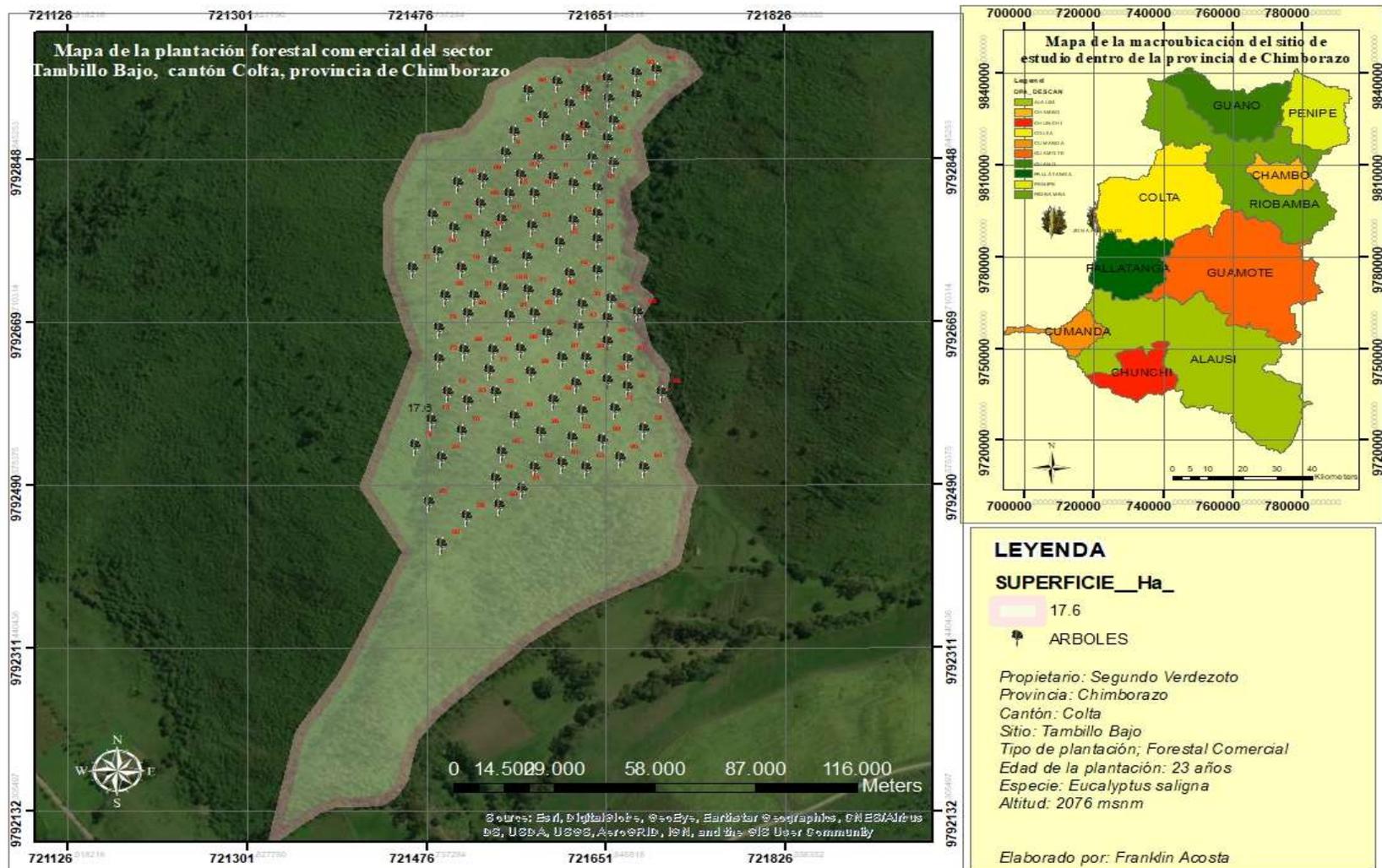


Figura 5. Mapa de ubicación de la plantación en estudio.

Fuente: (Acosta, F. 2018)

B. Materiales y equipos

Durante la investigación se utilizó los siguientes equipos y materiales: motosierra, casco, chaleco, GPS, pintura roja, forcípula, cinta métrica, cámara fotográfica, libreta de campo, lápices, tizas, computadora e impresora.

C. Metodología

Los pasos a seguir dentro de esta investigación están sustentados en estudios previos, citados en el marco teórico, a continuación, se detalla las siguientes actividades para cumplir con cada objetivo:

1. Realizar un análisis comparativo del cálculo de volumen real por secciones para la estimación del factor de forma de la especie *Eucalyptus saligna* se efectuó los siguientes pasos:

a. Delimitación del área de estudio

Mediante la visita y reconocimiento de la plantación comercial forestal ubicada en el sector Tambillo Bajo, cantón Colta, provincia de Chimborazo, se identificó sus límites, marco de plantación, edad de la plantación a fin de levantar su mapa y determinar la superficie total a ser aprovechada.

b. Selección de árboles

Se seleccionó 100 árboles representativos para el muestreo, los árboles sin deformaciones, fuste recto y que no presenten bifurcaciones fueron objeto del presente estudio.



Figura 6. Árboles seleccionados para el estudio.

c. Medición del DAP

Se tomó el diámetro a 130 cm del suelo (DAP) y se marcó con pintura de color rojo en donde se realizó la medición utilizando una forcípula.



Figura 7. Medición del DAP.

d. Tumba de árboles seleccionados

La tumba de los árboles seleccionados se realizó basado en los lineamientos definidos por la empresa NOVOPAN S.A. En el proceso de tumba se utilizó dos motosierras que apeaban y cuadraban la base de los árboles.



Figura 8. Tumba de árboles seleccionados.

e. Medición de los diámetros en cada sección

Se realizó la medición de las secciones del árbol apeado, primero se midió el tocón desde la altura del suelo hasta el corte la primera troza a la cuál denominamos A_1 , la segunda medición se realizó desde el corte hasta la sección que corresponde al corte corrección en la primera troza a la cual denominamos A_2 , desde A_2 , se realizaron las mediciones de seccionamiento a cada 1 metro iniciando a partir de la primera marca (D_1) hasta llegar al diámetro mínimo comercial de 5 cm (D_c), en cada punto de seccionamiento se efectuó marcas de pintura. Luego se realizó el seccionamiento con marcas de pintura y se procedió a medir con forcípula los diámetros de cada sección.



Figura 9. Medición de los diámetros en cada sección.

f. Medición de la altura total.

Una vez cortado y realizado las marcas respectivas al árbol, se procedió a medir la longitud desde el D1 hasta llegar al diámetro mínimo de corta de 5cm, su altura total corresponde a la sumatoria de la longitud de todas las secciones más la punta del mismo.



Figura 10. Medición de la longitud.

g. Formulario de campo

Las mediciones efectuadas sobre los arboles apeados en campo se llenaron en el siguiente formulario en donde A1 es la medición de la longitud del tocón, A2 corresponde a la longitud del corte de corrección en la primera troza, L_o es la longitud resultante de la operación matemática $L_o = D130 - A1 - A2$, D130 corresponde al diámetro a la altura de pecho, A.T corresponde a la altura total del árbol, D(1,2,3,4,5,6,7,8,9) corresponde a las mediciones de diámetro de seccionamiento de cada troza hasta llegar al diámetro mínimo de corta de 5 cm, mientras que L(1,2,3,4,5,6,7,8,9) corresponde a las longitudes de cada troza cada una, las cuales tienen una longitud de dos metros y finalmente el diámetro medio de cada troza corresponde al diámetro medio que se tomó en cada troza como lo muestra la figura 11.


 ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
 Casilla 06-014703 Teléfonos: 2965272-29610969 Fax: 2961099 Riobamba-Ecuador

LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN PARA EL FACTOR DE FORMA DE LA SP. EN ESTUDIO.

PROVINCIA	PARROQUIA	COORDENADAS	FECHA
CANTÓN	SITIO	E(x)	
ESPECIE	PROPIETARIO	N(y)	

N. Arbol	Coor. E(x)	Coor. W(y)	A (m)	A2(m)	Lo(m)	Do(cm)	AT (m)	D1(cm)	L1(m)	D2(cm)	L2(m)	D3(cm)	L3(m)	D4(cm)	L4(m)	D5(cm)	L5(m)	D6(cm)	L6(m)	D7(cm)	L7(m)	D8(cm)	L8(m)	D9(cm)	L9(m)
1																									
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)																									
2																									
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)																									

Figura 11. Formulario de campo.

La información descrita en el formulario de campo sirvió de base para el levantamiento de información para el factor de forma de la especie en estudio.

h. Elaboración de una hoja de Excel para el ingreso de datos

Una vez obtenidos los datos en campo y llenados en el formulario de campo, se elaboró una hoja de ingreso de datos en Excel, con los mismos campos que contiene el formulario de campo, además se procedió a tabular cada dato en la hoja de ingreso de datos como lo muestra la figura 12.

FORMATO DE RECOLECCIÓN DE DATOS PARA EL FACTOR DE FORMA DE ESPECIES FORESTALES															
PROVINCIA:		CHIMBORAZO										PARROQUIA:		Tambi	
CANTÓN:		COLTA										SITIO:		Tambi	
ESPECIE:		Eucalyptus saligna										PROPIETARIO:		Bergun	
Nº Arb.	A1 (m)	A2 (m)	LB (m)	D ₁₀₀ (cm)	AR Tot (m)	D1 (cm)	L1 (m)	D2 (cm)	L2 (m)	D3 (cm)	L3 (m)	D4 (cm)	L4 (m)	D5 (cm)	L5 (m)
1	0,3	0,11	0,89	33,2		35,1	2	32,3	2	29,2	2	26,8	2	26,1	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						35,1		36,1		29,5		26,5		26,3	
2	0,27	0,12	0,91	26,5		29,6	2	26,5	2	26,1	2	24,6	2	23,1	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						26,4		26,3		25		21,7		21	
3	0,2	0,05	1,05	30,7		23,6	2	19,3	2	16,9	2	16,2	2	15,2	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						19,7		18,2		16,3		16,2		14,5	
4	0,18	0,08	1,09	21,5		24,9	2	21,9	2	21	2	19,5	2	17,8	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						22,7		20,2		21,1		18		17,2	
5	0,15	0,15	1,04	25,3		28,3	2	26,3	2	24,3	2	23	2	22,2	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						25		24,5		21,7		22,6		23	
6	0,18	0,15	1,01	18		19,6	2	17,3	2	16,3	2	16,7	2	14	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						18		16,4		16		16		13,3	
7	0,21	0,1	0,99	32,5		37,5	2	30,2	2	28,3	2	27,1	2	25,6	2
DIÁMETRO MEDIO DE CADA TROZA (cm)						32,5		28,8		27,4		26		24,8	
8	0,16	0,1	1,04	19,2		20	2	18,6	2	17,7	2	16,5	2	15	2

Figura 12. Hoja de ingreso de datos en Excel.

Los datos tabulados en la hoja de ingreso de datos se utilizan para los cálculos posteriores en todo el libro de Excel creado para el cálculo de factor de forma de la especie en estudio.

- i. Elaboración de una hoja de Excel para el cálculo del volumen real por el método de Smalian

Posteriormente se desarrolla una hoja de cálculo en Excel para el cálculo del volumen real por el método de Smalian, la cual utiliza la hoja de ingreso de datos creada anteriormente para sus respectivas operaciones matemáticas.

Los datos que se obtienen en esta tabla provienen de operaciones matemáticas con las variables que se encuentran en la hoja de ingreso de datos. Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

1. la altura comercial de cada individuo resulta de la sumatoria de la longitud de todas las secciones hasta la sección que tiene 5 cm de diámetro.
2. La fórmula para el sólido de referencia para cada árbol es la siguiente: *Vol. cilindro* =

$$\left(\frac{Dap}{2}\right)^2 * \pi * hc$$

Donde:

Vol. cilindro: Volumen del solido de referencia (cilindro).

Dap: Diámetro a la altura del pecho.

π : 3.1416.

hc: Altura comercial de cada individuo.

3. Para el cálculo de volumen real para cada sección se emplea la fórmula de Smalian.
4. El volumen real total de cada individuo resulta de la sumatoria del volumen real encontrado en cada sección.
5. El factor de forma de cada árbol resulta de dividir el volumen real total de ese árbol para el volumen del cilindro del mismo como muestra la figura 13.
6. Finalmente, el factor de forma que se presentó en este estudio resulta del promedio de los 100 factores de forma encontrados por este método de cubicación.

FORMATO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE FORMA DE ESPECIES FORESTALES												
PROVINCIA:	CHIMBORAZO			PARROQUIA:	Tambillo bajo			COORDANADAS			F-REV-02	
CANTÓN:	COLTA			SITIO:	Tambillo bajo			E	721653		$V = \frac{\pi}{4} (D_1^2 + D_2^2) \times L \times m^3$	
ESPECIE:	Eucalyptus saligna			PROPIETARIO:	Segundo Verdezoto			N	9792934		$\frac{4}{\pi \times h^2}$	
N° Arb:	Alt. com. (m)	D _{1.30} (cm)	Vol cilindro (m ³)	Vol T1 (m ³)	Vol T2 (m ³)	Vol T3 (m ³)	Vol T4 (m ³)	Vol T5 (m ³)	Vol T8 (m ³)	Vol T9 (m ³)	Vol Total (m ³)	ff
1	34,24	33,20	2,964	0,178	0,149	0,132	0,119	0,107	0,082	0,074	1,281	0,43
2	27,44	26,50	1,513	0,124	0,109	0,101	0,082	0,069	0,056	0,045	0,822	0,54
3	22,21	20,70	0,747	0,072	0,051	0,043	0,039	0,033	0,016	0,012	0,329	0,44
4	22,21	21,50	0,806	0,086	0,072	0,064	0,055	0,048	0,025	0,020	0,465	0,58
5	24,34	25,30	1,224	0,113	0,097	0,088	0,080	0,072	0,043	0,033	0,685	0,56
6	22,22	18,00	0,565	0,053	0,044	0,040	0,035	0,030	0,019	0,014	0,298	0,53
7	34,31	32,50	2,846	0,180	0,134	0,121	0,109	0,097	0,078	0,069	1,247	0,44
8	26,36	19,20	0,763	0,059	0,052	0,046	0,039	0,034	0,023	0,018	0,361	0,47
9	34,42	39,00	4,112	0,242	0,205	0,181	0,154	0,135	0,112	0,098	1,720	0,42

Figura 13. Hoja de cálculo para el factor de forma mediante el método de Smalian.

- j. Elaboración de una hoja de Excel para el cálculo del volumen real por el método de Newton

Consecutivamente en el mismo libro de Excel se elabora una nueva hoja de cálculo, para el cálculo del volumen real por el método de Newton, la cual también utiliza la hoja de ingreso de datos creada anteriormente para sus respectivas operaciones matemáticas.

Los datos que se obtienen en esta tabla provienen de operaciones matemáticas con las variables que se encuentran en la hoja de ingreso de datos. Las fórmulas utilizadas son las siguientes:

1. la altura comercial de cada individuo resulta de la sumatoria de la longitud de todas las secciones hasta la sección que tiene 5 cm de diámetro.
2. La fórmula para el sólido de referencia para cada árbol es la siguiente: *Vol. cilindro* =
$$\left(\frac{Dap}{2}\right)^2 * \pi * hc$$

Donde:

Vol. cilindro: Volumen del sólido de referencia (cilindro).

Dap: Diámetro a la altura del pecho.

π : 3.1416.

hc: Altura comercial de cada individuo.

3. Para el cálculo de volumen real para cada sección se emplea la fórmula de Newton.
4. El volumen real total de cada individuo resulta de la sumatoria del volumen real encontrado en cada sección.
5. El factor de forma de cada árbol resulta de dividir el volumen real total de ese árbol para el volumen del cilindro del mismo como muestra la figura 14.
6. Finalmente, el factor de forma que se presentó en este estudio resulta del promedio de los 100 factores de forma encontrados por este método de cubicación.

FORMATO PARA DETERMINAR EL FACTOR DE FORMA DE ESPECIES FORESTALES											
PROVINCIA:	CHIMBORAZO			PARROQUIA:	Tambillo bajo			COORDANADAS:	WTON PARA EL VOLUME		
CANTÓN:	COLTA			SITIO:	Tambillo bajo			E	721653		
ESPECIE:	Eucalyptus tañona			PROPIETARIO:	Segundo Verdezoto			N	9792934		
											$\bar{V}_v = \frac{\pi}{4} \left[\frac{C_1^2 + 4C_2^2 + C_3^2}{6} \right] L$
N° Arb.	Alt. com. (m)	D _{cas} (cm)	Vol cilindro (m ³)	Vol T2 (m ³)	Vol T3 (m ³)	Vol T4 (m ³)	Vol T5 (m ³)	Vol T8 (m ³)	Vol T9 (m ³)	Vol Total (m ³)	H
1	34,24	33,20	2,96	0,145	0,135	0,113	0,107	0,083	0,075	1,29	0,44
2	27,44	26,50	1,51	0,109	0,099	0,077	0,069	0,058	0,049	0,81	0,54
3	22,21	20,70	0,75	0,052	0,042	0,040	0,033	0,017	0,011	0,32	0,43
4	22,21	21,50	0,81	0,067	0,068	0,052	0,047	0,025	0,021	0,46	0,57
5	24,34	25,30	1,22	0,095	0,088	0,080	0,070	0,042	0,032	0,67	0,55
6	22,22	18,00	0,57	0,043	0,040	0,038	0,030	0,017	0,012	0,29	0,52
7	34,31	32,50	2,85	0,131	0,119	0,107	0,097	0,076	0,070	1,22	0,43
8	26,36	19,20	0,76	0,051	0,045	0,040	0,034	0,022	0,018	0,36	0,47
9	34,42	39,00	4,11	0,201	0,174	0,152	0,133	0,116	0,099	1,72	0,42

Figura 14. Hoja de cálculo para el factor de forma mediante el método de Newton.

k. Cálculo del volumen real por el método gráfico mediante el programa SolidWorks.

Mediante el software de diseño asistido por computador SolidWorks versión 2017, se modelizó cada fuste para cada árbol individualmente, mediante el siguiente proceso:

1. Ir al menú archivo opción nuevo.
2. Seleccionar opción pieza y dar clic en aceptar.
3. Una vez abierto el espacio de trabajo seleccionar la pestaña croquis y dar clic en la opción croquis
4. A continuación, aparece en el espacio de trabajo un plano cartesiano
5. En el cual creamos un polígono con las cotas respectivas a cada árbol estudiado, utilizando las herramientas de edición.
6. Seleccionamos el eje de rotación en nuestro polígono, damos clic en la pestaña operaciones opción revolución de saliente/base a continuación damos clic en aceptar y se nos crea un sólido en revolución.
7. Por ultimo damos clic en la pestaña calcular opción propiedades físicas y encontramos el valor del volumen del fuste en estudio.

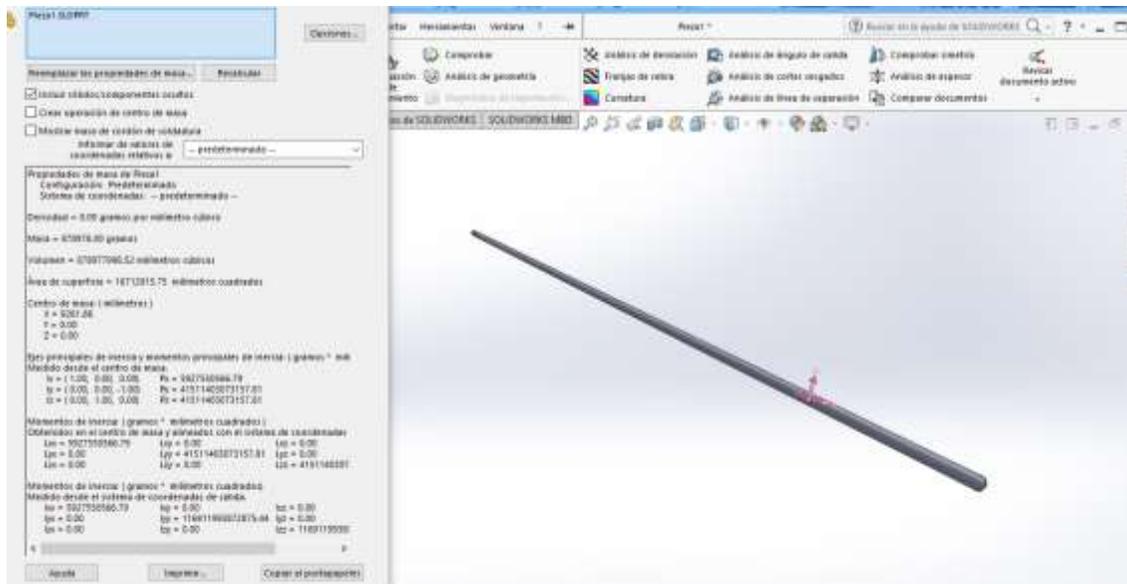


Figura 15. Cálculo del volumen individual en SolidWorks.

El procedimiento se realizó para los 100 árboles correspondientes a este estudio la figura 15 es un ejemplo del resultado final de un árbol en estudio en el programa SolidWorks.

Una vez encontrados los valores del volumen de los 100 árboles en estudio se tabularon estos valores en una nueva hoja de Excel, para determinar el factor de forma de cada árbol se dividió el volumen real total de ese árbol para el volumen del cilindro del mismo como muestra la figura 16.

Finalmente, el factor de forma que se presentó en este estudio resulta del promedio de los 100 factores de forma encontrados por este método de cubicación como lo muestra la figura 16.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO					
fórmula para el cálculo de volumen por secciones			MÉTODO GRAFICO	SolidWorks	
fórmula del volumen cilindro			$V_{cilindro} = \pi \left[\frac{C_{1,4}}{2} \right]^2 L_{Total}$		
fórmula del volumen individual total			Método Gráfico		
No. Árbol	DAP (C _{1,4}) (m)	Altura (L) (m)	Vol. Total Sw (m³)	Vol. Cilindro (m³)	factor de forma
1	0,33	34,24	1,28	2,96	0,43
2	0,27	27,44	0,88	1,51	0,58
3	0,21	22,21	0,41	0,75	0,55
4	0,22	22,21	0,49	0,81	0,61
5	0,25	24,34	0,63	1,22	0,52
6	0,18	22,22	0,30	0,57	0,52

Figura 16. Hoja de cálculo para el volumen individual mediante el método gráfico.

1. Cálculo del volumen del testigo.

Para el cálculo del volumen real del testigo se establece el valor de 0.70 como factor de forma, presente en el artículo 10 del acuerdo ministerial No. 327 emitido por el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

Se elabora una hoja de cálculo en Excel, para el cálculo del volumen comercial por el método testigo, la cual utiliza la hoja de ingreso de datos creada anteriormente para sus respectivas operaciones matemáticas.

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO					
Cálculo del volumen Testigo					
fórmula del volumen cilindro			$V_{cilindro} = \pi \left[\frac{C_{1,4}}{2} \right]^2 L_{Total}$		
fórmula del volumen Individual			$v_{individual} = v_{cilindro} * ff$		
No. Árbol	Alt. com. (m)	D130 (cm)	Vol. Cilindro	Factor de forma	Vol. Ind.
1	34,24	33,2	2,964	0,7	2,07
2	27,44	26,5	1,513	0,7	1,06
3	22,21	20,7	0,747	0,7	0,52
4	22,21	21,5	0,806	0,7	0,56
5	24,34	25,3	1,224	0,7	0,86
6	22,22	18	0,565	0,7	0,40

Figura 17. Hoja de cálculo para el volumen individual mediante el método Testigo.

m. Análisis estadísticos y comparaciones

Los datos del volumen individual fueron transformados a logaritmo natural con el fin de mejorar el desempeño de las medidas de distancia composicional, además se realizaron los siguientes análisis estadístico en el programa SPSS. Los cuales fueron:

a) Pruebas de Normalidad

Se realizó el gráfico Q-Q plot para evaluar el grado de ajuste del conjunto de datos en estudio a una distribución normal. La prueba de Kolmogorov Smirnov para medir el grado de concordancia existente entre la distribución de los valores del volumen individual y una distribución normal, es decir si las observaciones podrían razonablemente proceder de la distribución normal.

b) Estadísticos descriptivos

Se analizaron las medidas resumen para comparar conjuntos de datos cuantitativos y para presentar los resultados del estudio.

c) ANOVA

Se efectuó el análisis de varianza para determinar si realmente existe una relación de dependencia entre las variables objeto de estudio.

d) Comparaciones múltiples

Se realizó la prueba de Tukey para realizar todas las comparaciones entre las medias del volumen comercial m³ de los distintos métodos de cálculos empleados en este estudio.

Los datos del factor de forma provienen de una estadística no paramétrica se rigen a los siguientes análisis estadísticos en el programa SPSS:

a) Pruebas no paramétricas

Se efectuó la prueba de Kruskal-Wallis debido a que el conjunto de datos del factor de forma no presenta una distribución normal. En este caso se comparan las medianas del factor de forma provenientes de cada método de cálculo, en lugar de las medias

b) Gráfico de medianas

Se realizó un gráfico de cajas para representar el valor de las medianas de los factores de forma encontrados dentro de este estudio.

2. Verificar el volumen calculado con los factores de forma estimados mediante ecuaciones de volumen de una y doble entrada para la especie en estudio se efectuó los siguientes pasos:

a. Obtención de los modelos a utilizar en los ajustes

Se realizó una tabla de correlaciones posibles en el programa estadístico Excel combinando las variables citadas en la revisión bibliográfica, con el fin de encontrar las ecuaciones de volumen potenciales y eliminar aquellas que por baja correlación no justificaban su inserción (Morás, 2010). Los datos regidos al análisis estadístico de correlación se muestran en el anexo 2.

b. Selección del modelo

Se eligió cinco ecuaciones de volumen potenciales y para ello se utilizó el ajuste de correlación (R) entre la variable dependiente-independiente. Seleccionando aquel modelo que presentó mayor ajuste de correlación (R) entre todos los modelos (Morás, 2010).

c. Regresiones

Se ejecutó una regresión lineal en el programa estadístico SPSS a cada ecuación de volumen potencial ajustando a la relación matemática entre el volumen real encontrado con la fórmula de Smalian (variable dependiente) y las variables en estudio (dap, altura) para determinar una confiabilidad aceptable cumpliendo con los supuestos de linealidad, normalidad y auto correlación.

d. Presentación de modelos matemáticos potenciales

Se presentan los modelos matemáticos con los valores del coeficiente de determinación y el valor F crítico encontrados en cada una de ellas.

e. Análisis comparativo estadístico

Una vez encontrada las cinco ecuaciones de volumen potenciales y los factores de forma por los diferentes métodos de cubicación Smalian, Newton, método gráfico y testigo, se procedió a encontrar el volumen comercial a partir del diámetro a la altura del pecho y la altura comercial de los 100 árboles en estudio para encontrar su media y poder verificar.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIONES

1. Análisis comparativo del cálculo de volumen por secciones para la estimación del factor de forma de la especie *Eucalyptus saligna*.

Los datos regidos al análisis estadístico se muestran en el anexo 1.

A. Volumen comercial en metros cúbicos.

a. Prueba de Normalidad

El gráfico Q-Q Normal de volumen comercial en metros cúbicos muestra que los puntos en el gráfico tienen un comportamiento rectilíneo. Por ende, a través de esta prueba estadística no formal se establece el supuesto de la normalidad y que los datos provienen de una estadística paramétrica.

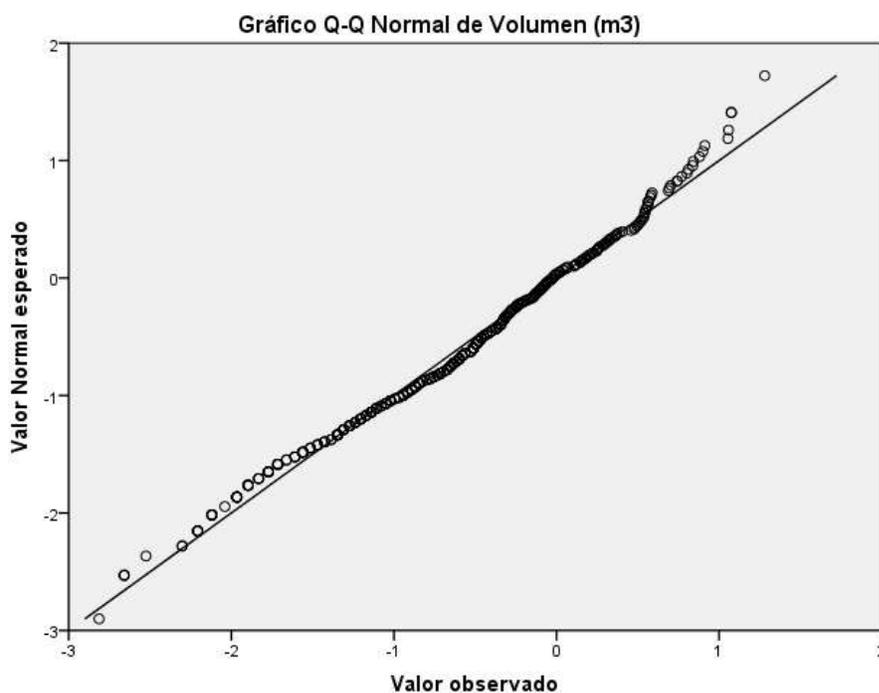


Figura 18. Gráfico Q-Q Normal de volumen m3.

Para la validación de la hipótesis de normalidad posterior al análisis no formal de los datos, se rigen a la Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra, debido a que este estudio posee una muestra mayor a 50 datos

Tabla 6. Prueba de normalidad Kolmogorov-Smirnov para el volumen real m3.

		Volumen real (m3)
N		400
Parámetros normales ^{a,b}	Media	-,5895
	Desviación típica	,78220
Diferencias más extremas	Absoluta	,060
	Positiva	,032
	Negativa	-,060
Z de Kolmogorov-Smirnov		1,196
Sig. asintót. (bilateral)		,114
a. La distribución de contraste es la Normal.		
b. Se han calculado a partir de los datos.		

Mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov se acepta la hipótesis de normalidad debido a que el nivel de significancia es mayor a 0.05.

b. Análisis descriptivo

En el análisis descriptivo del estudio realizado con una muestra homogénea de 100 individuos por método de cálculo del volumen comercial con un intervalo de confianza para la media al 95%, se puede manifestar que en la plantación forestal comercial del sector Tambillo Bajo los volúmenes individuales del estudio, registrados con los métodos de cálculo de Smalian, Newton, método gráfico y testigo presentaron una media 0.6311, 0.6336, 0.7210, 0.9517 m3, lo que concuerda con el estudio realizado por Caillez (1980) en donde describe que si el fuste tiene la forma paraboloides con tendencia a cónica el cálculo por la fórmula de Smalian,

Newton son similares, mientras que el método gráfico difiere un poco debido a que la exactitud en la estimación de volumen depende más a la cantidad y a la precisión de las mediciones de los diámetros en cada sección que del cálculo empleado en sí. La desviación típica total de este estudio es de 56,45%(CV), un error típico total del 2%, con una máxima total de 3.60 y una mínima total de 0.06 m³ como lo muestra la tabla 7.

Tabla 7. Análisis estadístico de la variable volumen real en metros cúbicos.

Volumen com. en metros cúbicos								
	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
Cálculo por F. Smalian	100	,6311	,45536	,04554	,5407	,7215	,06	2,10
Cálculo por F. Newton	100	,6336	,45668	,04567	,5430	,7242	,07	2,10
Cálculo por M. gráfico	100	,7210	,49714	,04971	,6224	,8196	,07	2,49
Testigo	100	,9517	,74339	,07434	,8042	1,0992	,07	3,60
Total	400	,7344	,56457	,02823	,6789	,7898	,06	3,60

c. Análisis de varianza

En el Análisis de la Varianza (ANOVA) de la muestra del volumen real en m³ tabla 8, dado que el p-valor es menor que 0.05, se acepta la hipótesis que una o varias medias del método de cálculo para el volumen individual empleado en este estudio poseen diferencias significativas entre sus medias.

Tabla 8. Análisis de la Varianza (ANOVA) de la variable volumen real.

Volumen real en metros cúbicos					
	Suma	de			
	cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Inter-grupos	6,823	3	2,274	7,483	,000
Intra-grupos	120,353	396	,304		
Total	127,176	399			

d. Análisis comparativo

En el análisis comparativo entre método de cálculo Smalian, Newton, método gráfico y testigo para el cálculo del volumen comercial por el test de Tukey con un intervalo de confianza al 95%, se evidencian diferencias estadísticas altamente significativas entre los métodos en estudio, por lo cual se ubicó en el subconjunto “1” al cálculo por F. Smalian, Newton y método gráfico con medias de 0,631, 0,633, 0,720 m³ respectivamente, los cuales no tienen diferencias significativas y corrobora con el estudio realizado por Riaño & Lizarazo (2017), en el cual toma los datos de un árbol apeado (FAO, 1980) medido los diámetros con intervalos de un metro, empezando en el tocón (a 20 cm del suelo) y el diámetro a la altura del pecho (dap) con cinco métodos diferentes de cálculo entre ellos Smalian y Newton, en donde describe que si el fuste tiene la forma paraboloides con tendencia a cónica el cálculo por la fórmula de Smalian y Newton son similares, lo que afirma que la exactitud en la estimación del volumen real depende más a la cantidad y a la precisión de las mediciones de los diámetros en cada sección que del cálculo empleado en sí (FAO, 1981).

En el subconjunto “2” se ubicó el cálculo del volumen por el testigo el cual emplea el factor de forma de 0.70 establecido por el MAG, con una media de 0.95 m³ como lo muestra la tabla 10. Además, no es recomendable para estimar el volumen comercial.

Tabla 9. Comparaciones múltiples entre métodos de cálculo de la variable volumen real.

HSD de Tukey

(I) Método de cálculo	(J) Método de cálculo	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Cálculo por F. Smalian	Cálculo por F. Newton	-,00780	,10909	1,000	-,2892	,2736
	Cálculo por M. gráfico	-,14796	,10909	,528	-,4294	,1335
	Testigo	-,36015*	,10909	,006	-,6416	-,0787
Cálculo por F. Newton	Cálculo por F. Smalian	,00780	,10909	1,000	-,2736	,2892
	Cálculo por M. gráfico	-,14016	,10909	,573	-,4216	,1413
	Testigo	-,35234*	,10909	,007	-,6338	-,0709
Cálculo por M. gráfico	Cálculo por F. Smalian	,14796	,10909	,528	-,1335	,4294
	Cálculo por F. Newton	,14016	,10909	,573	-,1413	,4216
	Testigo	-,21218	,10909	,211	-,4936	,0693
Testigo	Cálculo por F. Smalian	,36015*	,10909	,006	,0787	,6416
	Cálculo por F. Newton	,35234*	,10909	,007	,0709	,6338
	Cálculo por M. gráfico	,21218	,10909	,211	-,0693	,4936

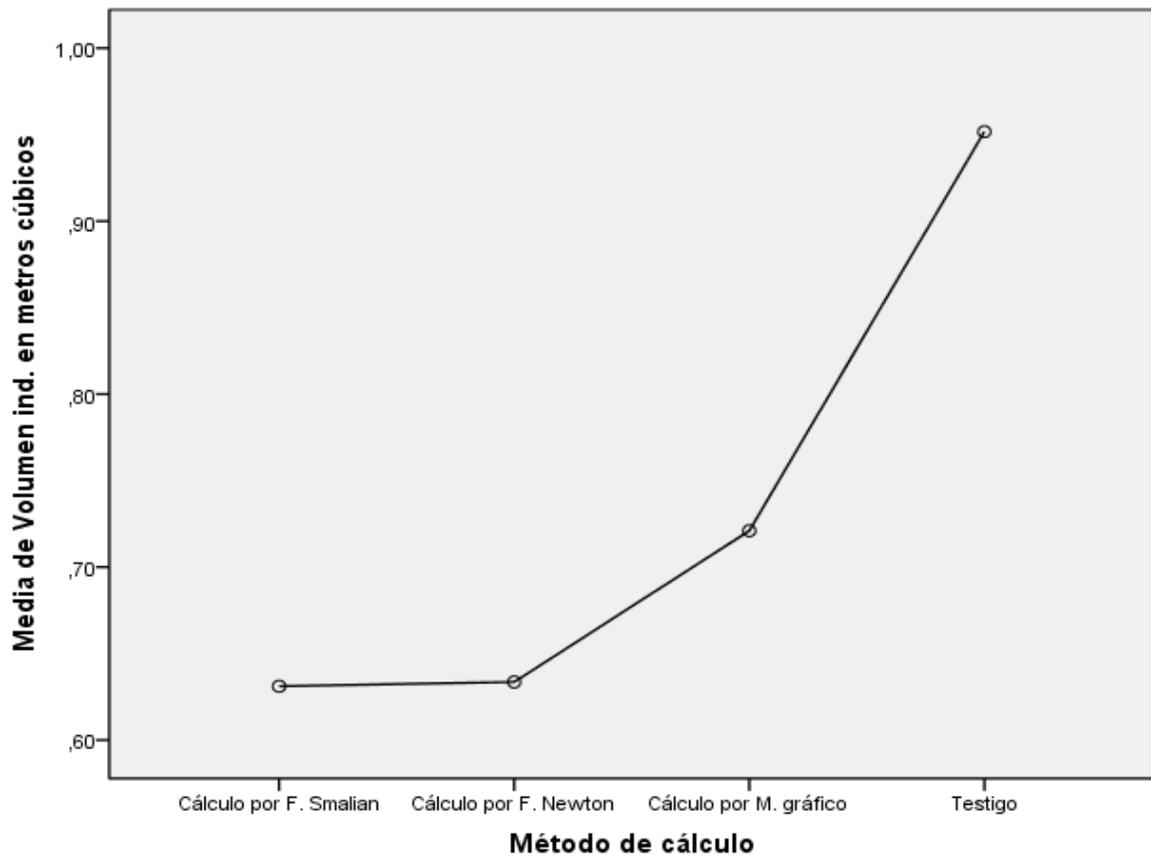
*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 10. Subconjuntos homogéneos.

HSD de Tukey ^a			
Método de cálculo	N	Subconjunto para alfa = 0.05	
		1	2
Cálculo por F. Smalian	100	,6311	
Cálculo por F. Newton	100	,6336	
Cálculo por M. gráfico	100	,7210	
Testigo	100		,9517
Sig.		,657	1,000

Se muestran las medias para los grupos en los subconjuntos homogéneos.

a. Usa el tamaño muestral de la media armónica = 100,000.

**Figura 19.** Gráfica de Medias de la variable volumen real.

B. Factor de forma.

a. Prueba no paramétrica

Dado que en la prueba de Kruskal-Wallis para el factor de forma tabla 11, el p-valor es menor que 0.05 se acepta la hipótesis que una o varios factores de forma encontrados en este estudio poseen diferencias significativas entre sus medianas.

Tabla 11. Prueba de Kruskal-Wallis para los factores de forma encontrados.

Estadísticos de contraste a,b				
		Factor de Forma		
Chi-cuadrado			244,472	
Gl			3	
Sig. asintót.			,000	

Rangos				
	Método de cálculo	N	Rango promedio	Medianas
Factor de Forma	F. Smalian	100	119,25	0.46
	F. Newton	100	128,14	0.47
	M. gráfico	100	212,11	0.54
	Testigo	100	342,50	0.70
	Total	400		

El análisis comparativo del factor de forma encontrado por el test de Kruskal Wallis, siendo similares el factor de forma encontrado por las fórmulas de Smalian y Newton con una mediana de 0.46 y 0.47 respectivamente estos valores concuerdan con el estudio por Martin (1997) donde determina un factor de forma de 0.38 para la especie *Eucalytus camaldulensis* Duhnh, con una muestra de 166 árboles provenientes de una plantación pura a una altitud de 10 a 250 msnm, los valores de los métodos Smalian y Newton estan dentro de un rango aceptable de 0.36 a 0.52 como lo menciona Caillez (1980). Mientras que el factor de forma encontrado por el método gráfico con una mediana de 0.54 se encuentra fuera del rango permitido por Caillez (1980), el testigo difiere de las tres medianas mencionadas y fuera del rango permitido con una mediana de 0.70.

Tabla 12. Comparaciones múltiples entre métodos de cálculo de la variable factor de forma.

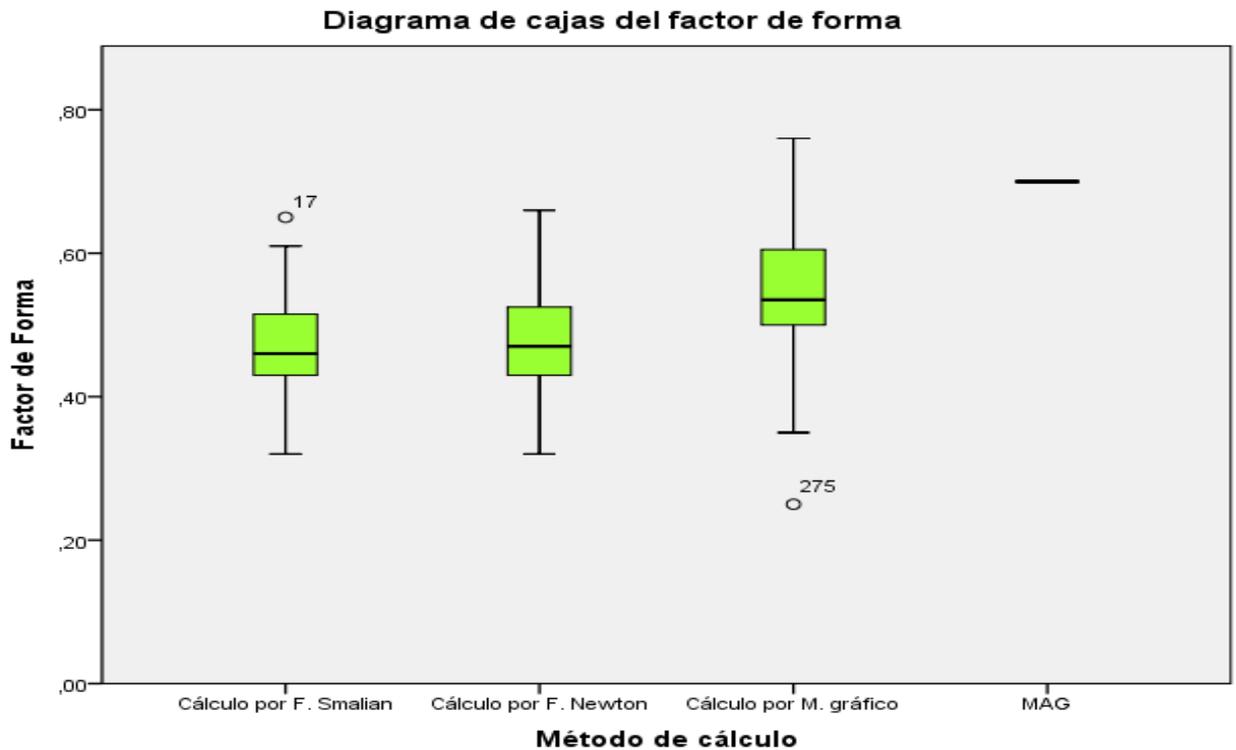


Figura 20. Gráfica de medianas de la variable factor de forma.

2. Validación del volumen calculado con los factores de forma estimados mediante ecuaciones de volumen de una y doble entrada para la especie en estudio.

C. Ecuaciones de volumen

a. Obtención de los modelos a utilizar en los ajustes

Se estudian cinco tipos de ecuaciones para volumen con los coeficientes de correlación lineal de Pearson (R) más altos, las variables aplicadas en esta investigación fueron diámetro a la altura del pecho, área basal, altura y volumen comercial calculado por la fórmula de cubicación Smalian de los árboles en estudio (tabla 13).

Tabla 13. Coeficientes de correlación.

	<i>VOL_IT</i>	<i>DAP</i>	<i>Htotal</i>	<i>AB</i>	<i>DAP</i> ²	<i>DAP</i> ³	<i>1/DAP</i>	<i>H</i> ²	<i>H*DAP</i>	<i>H*DAP</i> ²	<i>LN_VOL.</i> <i>IT</i>	<i>LN_H*DAP</i> ² <i>IT</i>
VOL_IT	1,00											
DAP	0,95	1,0										
Htotal	0,85	0,8	1,00									
AB	0,97	0,9	0,81	1,0								
DAP²	0,97	0,9	0,81	1,0	1,00							
DAP³	0,96	0,9	0,75	0,9	0,99	1,00						
1/DAP	-0,82	-	-0,85	-	-	-	1,00					
H²	0,89	0,8	0,99	0,8	0,83	0,79	-0,82	1,0				
H*DAP	0,97	0,9	0,93	0,9	0,96	0,93	-0,88	0,9	1,00			
H*DAP²	0,99	0,9	0,85	0,9	0,98	0,98	-0,83	0,8	0,98	1,00		
LN_VOL. IT	0,91	0,9	0,93	0,9	0,91	0,85	-0,96	0,9	0,95	0,90	1,00	
LN_H*DAP²	0,89	0,9	0,94	0,9	0,91	0,85	-0,98	0,9	0,96	0,90	0,99	1,00

b. Selección del modelo

Los coeficientes de correlación (R) más altos se dan en las 5 ecuaciones mostradas en la tabla 14.

Tabla 14. Ecuaciones propuestas para el cálculo de Volumen.

Número de ecuación	Ecuaciones propuestas	Coefficiente de correlación R
1	$VOL_IT = a + b(DAP^2) + E$	0,97

2	$VOL_IT=a+ b(H*DAP)+ E$	0,97
3	$VOL_IT=a+ b(H*DAP^2)+ E$	0,99
4	$LN VOL_IT=a+ b(1/DAP)+ E$	0,96
5	$LN VOL_IT=a+ b1(LN_H*DAP^2)+ E$	0,99

c. Regresiones

Se elaboró la regresión lineal por mínimos cuadrados a las cinco ecuaciones propuestas para obtener los valores del coeficiente de determinación. Además, se incluye el análisis de la varianza para determinar la variación de las ecuaciones propuestas como modelos efectivos para fines predictivos.

Para cumplir con el supuesto de linealidad de la ecuación 1 se muestra la figura 21, donde se puede observar que los datos tienen un comportamiento rectilíneo, además el coeficiente de correlación para la ecuación 1 es de 0.97 el cual se aproxima a 1, como lo muestra la tabla 14.

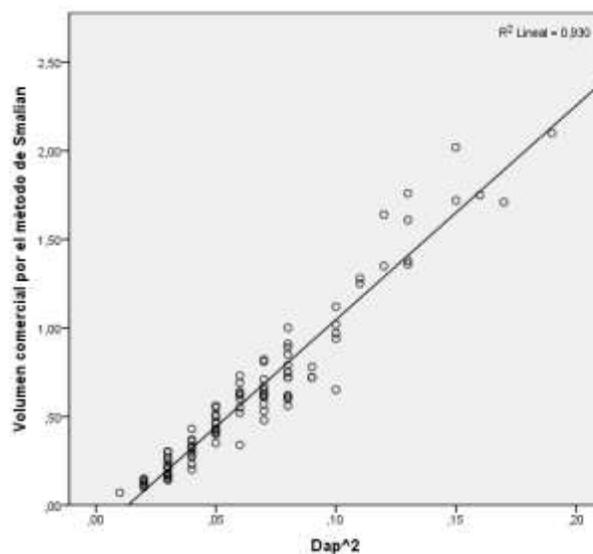


Figura 21. Volumen comercial por el método de Smalian en función del diámetro a la altura del pecho al cuadrado.

Para cumplir con el supuesto de normalidad de la ecuación 1 se muestra la figura 22, donde se puede observar que los residuos tienen un comportamiento rectilíneo. Además, la prueba de Kolmogorov muestra que el p-valor es mayor a 0.05 tabla 15, por tal razón no podemos rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, se cumple la normalidad de los residuos.

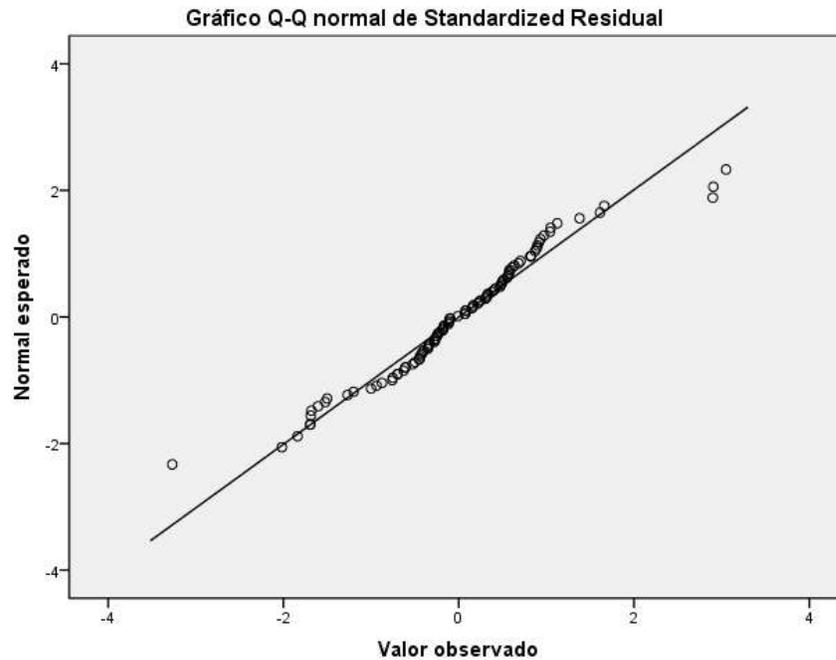


Figura 22. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.

Tabla 15. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 1.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Gl	Sig.
Standardized Residual	,085	100	,069

a. Corrección de la significación de Lilliefors

Dentro del análisis de varianza de la ecuación 1 dado que el p-valor es menor que 0.05, por ende existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la

hipótesis alterna, la cual indica que si existe relación entre la variable independiente Dap^2 con la variable dependiente volumen comercial calculado por la fórmula de cubicación Smalian como lo muestra la tabla 16.

Tabla 16. Análisis de varianza de la ecuación 1.

ANOVA^b

Modelo	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1 Regresión	19,211	1	19,211	1307,621	,000 ^a
Residual	1,440	98	,015		
Total	20,650	99			

a. Variables predictoras: (Constante), Dap^2

b. Variable dependiente: Volumen comercial por el método de Smalian

Dentro del cuadro de los coeficientes se observa que el p-valor de los coeficientes a y b son menores a 0.05 tabla 17, por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por ende, a y b resultan significativos.

Tabla 17. Cuadro de los coeficientes de la ecuación 1.

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes estandarizados		no Coeficientes tipificados		
		B	Error típ.	Beta	T	Sig.
1	(Constante)	-,162	,025		-6,434	,000
	Dap^2	12,083	,334	,965	36,161	,000

El modelo de regresión lineal simple explica el 93% de la variabilidad del volumen calculado por Smalian tabla 18, mientras que el 7% de la variabilidad restante queda explicada por otros factores.

Tabla 18. Estadísticas de regresión de la ecuación 1.**Resumen del modelo^b**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,965 ^a	,930	,930	,12121	1,834

a. Variables predictoras: (Constante), Dap²

b. Variable dependiente: Volumen comercial por el método de Smalian

Para cumplir con el supuesto de linealidad de la ecuación 2 se muestra la figura 23, donde se puede observar que los datos tienen un comportamiento rectilíneo, además el coeficiente de correlación para la ecuación 2 es de 0.97 el cual se aproxima a 1, como lo muestra la tabla 14.

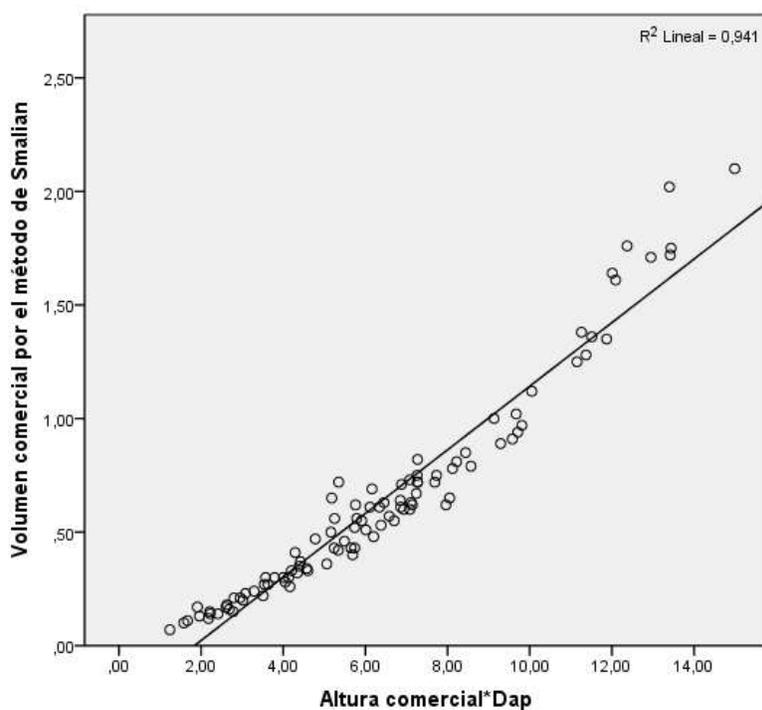


Figura 23. Volumen comercial por el método de Smalian en función del producto de la altura comercial con el diámetro a la altura del pecho.

Para cumplir con el supuesto de normalidad de la ecuación 2 se muestra la figura 24, donde se puede observar que los residuos tienen un comportamiento rectilíneo. Además, la prueba de Kolmogorov muestra que el p-valor es mayor a 0.05 tabla 19, por tal razón no podemos rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, se cumple la normalidad de los residuos.

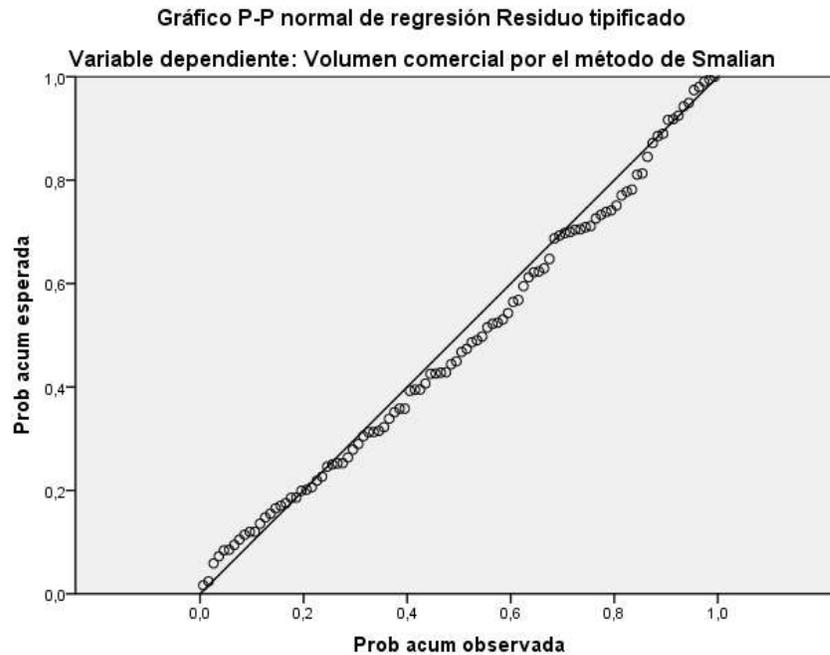


Figura 24. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.

Tabla 19. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 2.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Gl	Sig.
Standardized Residual	,059	100	,200*

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Dentro del análisis de varianza de la ecuación 2 dado que el p-valor es menor que 0.05, por ende existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la

hipótesis alterna, la cual indica que si existe relación entre la variable independiente Altura comercial*Dap con la variable dependiente volumen comercial calculado por la fórmula de cubicación Smalian, como lo muestra la tabla 20.

Tabla 20. Análisis de varianza de la ecuación 2.

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	de Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	19,440	1	19,440	1574,738	,000 ^a
	Residual	1,210	98	,012		
	Total	20,650	99			

a. Variables predictoras: (Constante), Altura comercial*Dap

b. Variable dependiente: Volumen comercial por el método de Smalian

Dentro del cuadro de los coeficientes se observa que el p-valor de los coeficientes a y b son menores a 0.05 tabla 21, por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por ende, a y b resultan significativos.

Tabla 21. Cuadro de los coeficientes de la ecuación 2.

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes estandarizados		no Coeficientes tipificados		
		B	Error típ.	Beta	T	Sig.
1	(Constante)	-,257	,025		-10,240	,000
	Altura comercial*Dap	,140	,004	,970	39,683	,000

a. Variable dependiente: Volumen comercial por el método de Smalian

El modelo de regresión lineal simple explica el 94,1% de la variabilidad del volumen calculado por Smalian tabla 22, mientras que el 5,9% de la variabilidad restante queda explicada por otros factores.

Tabla 22. Estadísticas de regresión de la ecuación 2.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,970 ^a	,941	,941	,11111	2,196

a. Variables predictoras: (Constante), Altura comercial*Dap

b. Variable dependiente: Volumen comercial por el método de Smalian

Para cumplir con el supuesto de linealidad de la ecuación 3 se muestra la figura 25, donde se puede observar que los datos tienen un comportamiento rectilíneo, además el coeficiente de correlación para la ecuación 3 es de 0.99 el cual se aproxima a 1, como lo muestra la tabla 14.

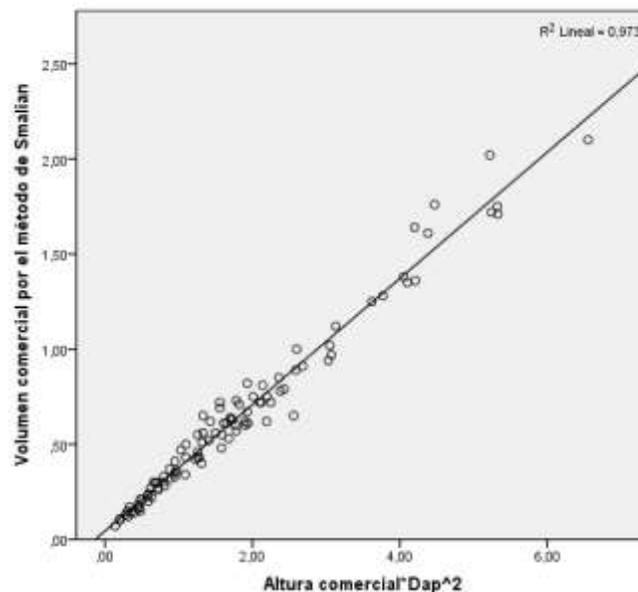


Figura 25. Volumen comercial por el método de Smalian en función del producto de la altura comercial con el diámetro a la altura del pecho al cuadrado.

Para cumplir con el supuesto de normalidad de la ecuación 3 se muestra la figura 26, donde se puede observar que los residuos tienen un comportamiento rectilíneo. Además, la prueba de Kolmogorov muestra que el p-valor es menor a 0.05 tabla 23, por tal razón se rechaza la hipótesis nula, por consiguiente, no se cumple la normalidad de los residuos.

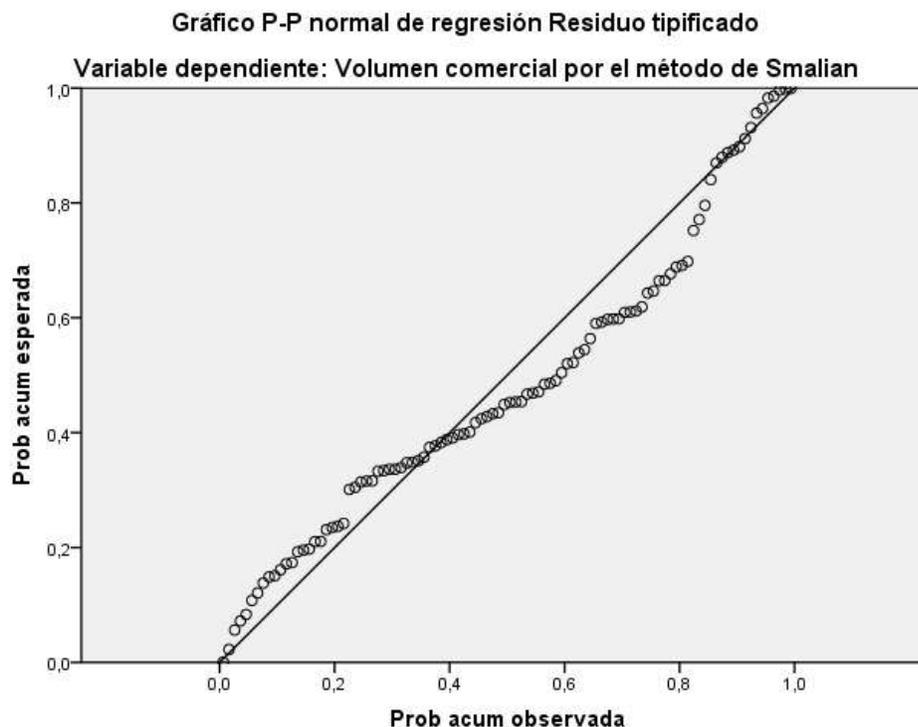


Figura 26. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.

Tabla 23. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 3.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Gl	Sig.
Standardized Residual	,121	100	,001

a. Corrección de la significación de Lilliefors

La presente ecuación no puede ser aplicada porque su p-valor o nivel de significancia es menor a 0.05 por lo que no cumple con las especificaciones de las ecuaciones propuestas.

Para cumplir con el supuesto de linealidad de la ecuación 4 se muestra la figura 27, donde se puede observar que los datos tienen un comportamiento rectilíneo, además el coeficiente de correlación para la ecuación 4 es de 0.96 el cual se aproxima a 1, como lo muestra la tabla 14

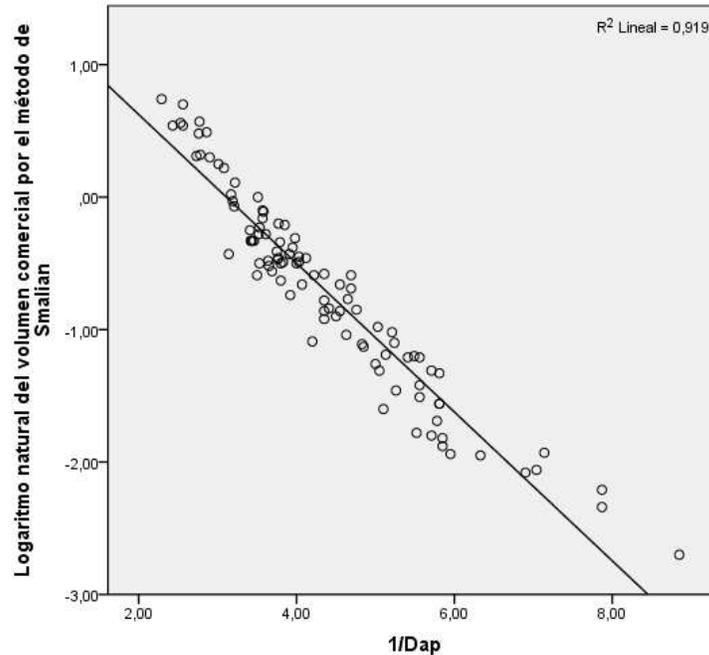


Figura 27. Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian en función de uno sobre el diámetro a la altura del pecho.

Para cumplir con el supuesto de normalidad de la ecuación 4 se muestra la figura 28, donde se puede observar que los residuos tienen un comportamiento rectilíneo. Además, la prueba de Kolmogorov muestra que el p-valor es mayor a 0.05 tabla 24, por tal razón no podemos rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, se cumple la normalidad de los residuos.

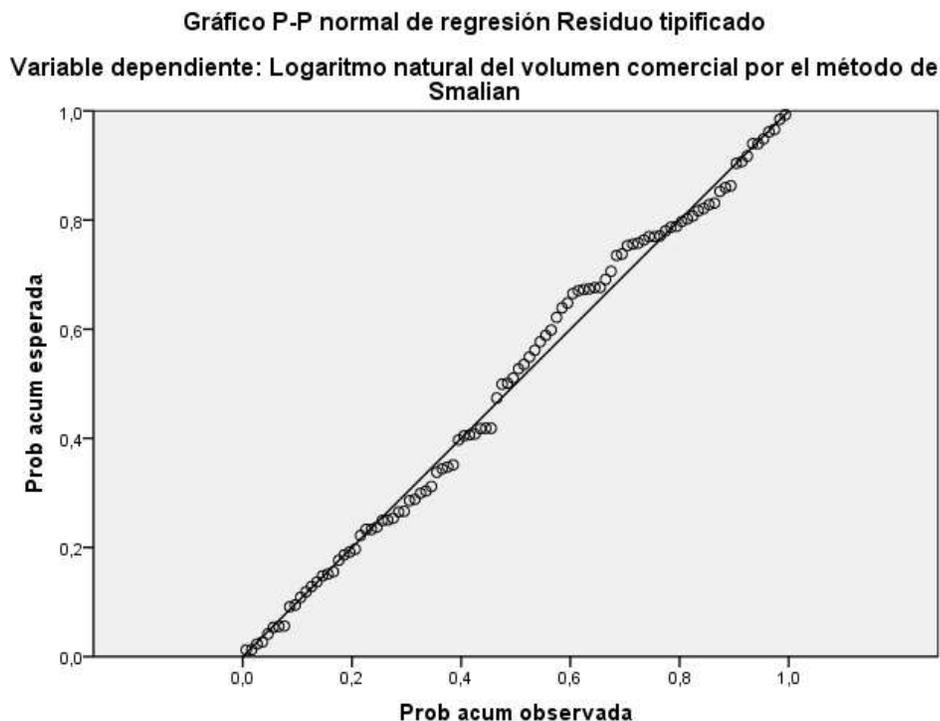


Figura 28. Residuos estandarizados del logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.

Tabla 24. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 4.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Gl	Sig.
Standardized Residual	,066	100	,200*

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Dentro del análisis de varianza de la ecuación 4 dado que el p-valor es menor que 0.05, por ende, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, la cual indica que si existe relación entre la variable independiente 1/Dap con la variable dependiente volumen comercial calculado por la fórmula de cubicación Smalian, como lo muestra la tabla 25.

Tabla 25. Análisis de varianza de la ecuación 4.

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	de Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	50,966	1	50,966	1110,904	,000 ^a
	Residual	4,496	98	,046		
	Total	55,462	99			

a. Variables predictoras: (Constante), 1/Dap

b. Variable dependiente: Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian

Dentro del cuadro de los coeficientes se observa que el p-valor de los coeficientes a y b son menores a 0.05 tabla 26, por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por ende, a y b resultan significativos.

Tabla 26. Cuadro de los coeficientes de la ecuación 4.

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes				
		Coeficientes no estandarizados		tipificados		
		B	Error típ.	Beta	T	Sig.
1	(Constante)	1,747	,077		22,793	,000
	1/Dap	-,562	,017	-,959	-33,330	,000

a. Variable dependiente: Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian

El modelo de regresión lineal simple explica el 91,9% de la variabilidad del volumen calculado por Smalian tabla 27, mientras que el 8,1% de la variabilidad restante queda explicada por otros factores.

Tabla 27. Estadísticas de regresión de la ecuación 4.**Resumen del modelo^b**

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,959 ^a	,919	,918	,21419	1,617

a. Variables predictoras: (Constante), 1/Dap

b. Variable dependiente: Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian

Ecuación 5

Para cumplir con el supuesto de linealidad de la ecuación 5 se muestra la figura 29, donde se puede observar que los datos tienen un comportamiento rectilíneo, además el coeficiente de correlación para la ecuación 5 es de 0.99 el cual se aproxima a 1, como lo muestra la tabla 14.

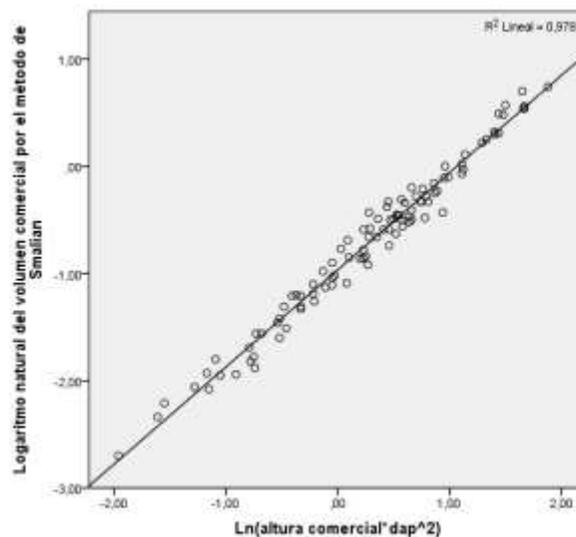


Figura 29. Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian en función del logaritmo natural del producto entre la altura comercial y el diámetro a la altura del pecho al cuadrado.

Para cumplir con el supuesto de normalidad de la ecuación 5 se muestra la figura 30, donde se puede observar que los residuos tienen un comportamiento rectilíneo. Además, la prueba de Kolmogorov muestra que el p-valor es mayor a 0.05 tabla 28, por tal razón no podemos rechazar la hipótesis nula, por consiguiente, se cumple la normalidad de los residuos.

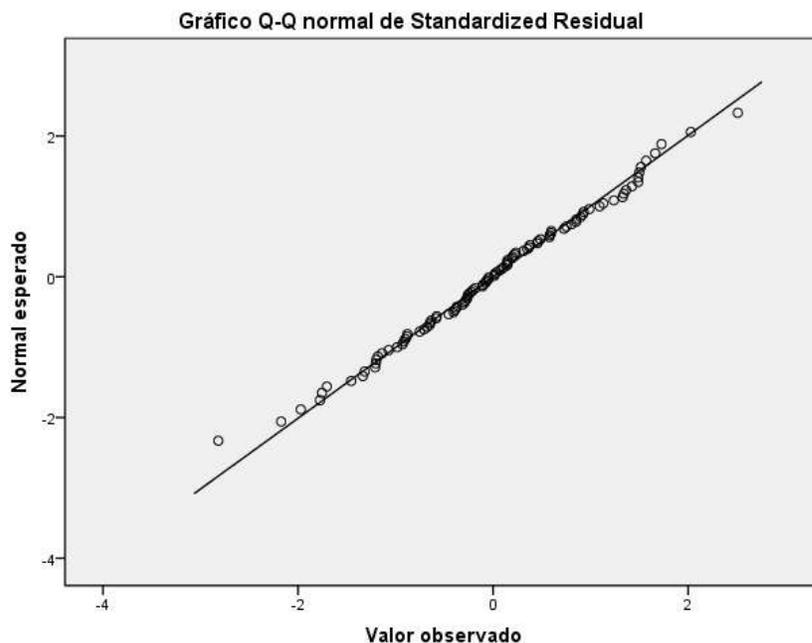


Figura 30. Residuos estandarizados del volumen comercial por el método de Smalian en función de valores predichos.

Tabla 28. Prueba de normalidad de Kolmogorov para la ecuación 5.

	Kolmogorov-Smirnov ^a		
	Estadístico	Gl	Sig.
Standardized Residual	,048	100	,200*

a. Corrección de la significación de Lilliefors

*. Este es un límite inferior de la significación verdadera.

Dentro del análisis de varianza de la ecuación 5 dado que el p-valor es menor que 0.05, por ende existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la

hipótesis alterna, la cual indica que si existe relación entre la variable independiente $\ln(\text{altura comercial} * \text{Dap}^2)$ con la variable dependiente volumen comercial calculado por la fórmula de cubicación Smalian, como lo muestra la tabla 29.

Tabla 29. Análisis de varianza de la ecuación 5.

ANOVA^b

Modelo		Suma de cuadrados	de Gl	Media cuadrática	F	Sig.
1	Regresión	54,227	1	54,227	4300,263	,000 ^a
	Residual	1,236	98	,013		
	Total	55,462	99			

a. Variables predictoras: (Constante), $\ln(\text{altura comercial} * \text{dap}^2)$

b. Variable dependiente: Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian

Dentro del cuadro de los coeficientes se observa que el p-valor de los coeficientes a y b son menores a 0.05 tabla 30, por lo tanto, existe suficiente evidencia estadística para rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, por ende, a y b resultan significativos.

Tabla 30. Cuadro de los coeficientes de la ecuación 5.

Coefficientes^a

Modelo		Coeficientes estandarizados		no Coeficientes tipificados		Sig.
		B	Error típ.	Beta	t	
1	(Constante)	-,965	,012		-	,000
	$\ln(\text{altura comercial} * \text{dap}^2)$,906	,014	,989	81,073	,000

a. Variable dependiente: Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian

El modelo de regresión lineal simple explica el 97,8% de la variabilidad del volumen calculado por Smalian tabla 31, mientras que el 2,2% de la variabilidad restante queda explicada por otros factores.

Tabla 31. Estadísticas de regresión de la ecuación 5.

Resumen del modelo^b

Modelo	R	R cuadrado	R cuadrado corregida	Error típ. de la estimación	Durbin-Watson
1	,989 ^a	,978	,977	,11229	1,955

a. Variables predictoras: (Constante), Ln(altura comercial*dap²)

b. Variable dependiente: Logaritmo natural del volumen comercial por el método de Smalian

d. Presentación de modelos matemáticos potenciales

A partir de los cuadros de coeficientes se construyen las ecuaciones de predicción que permite conocer el valor predicho de volumen individual, para cualquier valor de las variables predictores dentro del dominio de los valores experimentados, los modelos matemáticos potenciales se presentan en la tabla 32.

Tabla 32. Modelos matemáticos de predicción establecidos.

Número de Ecuación	Ecuaciones Propuestas	R ² coeficiente de determinación	Valor crítico de F
1	Volumen. Ind= 12,083(DAP ²) - 0,162	0.936	2,04109E-60
2	Volumen. Ind = 0,1399(H*DAP) - 0,2566	0.942	2,31374E-62
4	Logaritmo natural (Volumen. Ind) = -0,5613(1/DAP) + 1,7463	0.919	2,47629E-55
5	Logaritmo natural (Volumen. Ind) = 0,9061(logaritmo natural (H*DAP ²)) - 0,9647	0.978	1,04216E-82

e. Análisis comparativo estadístico

Para convalidar el resultado obtenido por las 5 ecuaciones de volumen potenciales con los resultados de cada uno de los cuatro métodos de cubicación Smalian, Newton, método gráfico y testigo se calcula el volumen comercial a partir del diámetro a la altura de pecho con la altura comercial, a partir de las medias de cada método en estudio se calcula el error relativo desde la perspectiva: Tomando los valores de volumen del método de Smalian como el valor exacto y los valores del volumen de las ecuaciones 1, 2, 4, 5, Newton, método gráfico y testigo como aproximación.

Tabla 33. Valores estimados del volumen comercial por los métodos en estudio.

Valores de los volúmenes en m ³							
Volumen. Smalian	Volumen. Newton	Volumen Gráfico	Volumen Testigo	Ecuación 1	Ecuación 2	Ecuación 4	Ecuación 5
0,645	0,659	0,758	0,982	0,634	0,637	0,607	0,630

Tabla 34. Cálculo de los errores relativos.

Método	Valor exacto	Valor de aproximación	Error relativo
Volumen Newton	0,645	0,659	-2,1%
Volumen Gráfico	0,645	0,758	-14,8%
Volumen Testigo	0,645	0,982	-34,3%
Ecuación 1	0,645	0,637	1,8%
Ecuación 2	0,645	0,634	1,3%
Ecuación 4	0,645	0,607	6,2%
Ecuación 5	0,645	0,630	2,4%

Se observa que con el testigo obtiene el valor de mayor error relativo que sobreestima el volumen comercial en un 34.3%, seguido del método gráfico que sobreestima en un 14,8% el volumen comercial, la ecuación 4 en cambio subestima el volumen comercial en un 6.2%, mientras que los otros métodos su tasa de subestimación y sobrestimación no supera el 2.4%. En contraste con el estudio realizado por (Riaño & Lizarazo, 2017) en donde la ecuación con la que se estima el volumen de la madera del árbol muestra una mejora de los métodos tradicionales de evaluarlo mediante trozas además muestra que no es tan trascendental determinar que método es el mejor para el cálculo del volumen porque la exactitud en la estimación depende más de las mediciones del diámetro que del cálculo empleado en sí, pero para poder establecer las alturas correspondientes a diámetros determinados o evaluar los diámetros a ciertas alturas, el método polinomial muestra su bondad al tener que resolver una simple ecuación.

VIII. CONCLUSIONES

Se determinó el factor de forma de una muestra de 100 individuos con fustes rectos y sin bifurcaciones de la especie *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) en una plantación forestal comercial del sector Tambillo bajo, cantón Colta, provincia de Chimborazo mediante las fórmulas del cálculo del volumen real de Smalian, Newton y método gráfico cuyos valores son de 0.46, 0.47, 0.54 respectivamente.

El análisis comparativo del cálculo de volumen real por secciones la especie en estudio presentó una forma de tipo paraboloides con tendencia de forma cónica, donde el volumen comercial por los métodos Smalian, Newton y método gráfico se encuentran dentro de un mismo grupo homogéneo mientras que el método de cálculo del volumen comercial con el factor de forma de 0.70 se encuentra fuera de este subconjunto homogéneo.

En la verificación del volumen comercial calculado con los factores de forma estimados frente a las ecuaciones de volumen, el error relativo muestra que el método de cálculo del volumen comercial con el factor de forma de 0.70 sobre estima el volumen comercial en un 34.3%, seguido del método gráfico que sobreestima en un 14,8% el volumen comercial, la ecuación 4 en cambio subestima el volumen comercial en un 6.2%, mientras que los otros métodos su tasa de subestimación y sobreestimación no supera el 2.4% además se encontró que la ecuación 3 no cumple con la condición de normalidad dentro de la regresión lineal por tanto no puede ser aplicada para el cálculo del volumen comercial de la especie en estudio.

IX. RECOMENDACIONES

Se recomienda encontrar los factores de forma y la creación de ecuaciones de volumen para otras especies de rápido crecimiento de gran interés de producción maderera, del género *Eucalyptus* y materializar dichos modelos matemáticos en software de simulación que permitiría obtener predicciones de crecimiento y regular cortas y suministros de materia prima.

Se recomienda utilizar los factores de forma encontrados por el método de Smalian y Newton para la especie *Eucalyptus saligna* dentro de un rango de diámetro a la altura de pecho con un mínimo de 11,30 cm y una máxima de 43,70 cm.

Se recomienda utilizar las ecuaciones 1, 2 y 5 dentro del cálculo del volumen comercial para la especie *Eucalyptus saligna*, con un rango de diámetro a la altura de pecho con un mínimo de 11,30 cm y una máxima de 43,70 cm.

X. RESUMEN

La presente investigación propone: determinar el factor de forma de la especie *Eucalyptus saligna* (Eucalipto) en una plantación forestal comercial del sector Tambillo bajo, cantón Colta, provincia de Chimborazo; para lo cual se toma como muestra 100 individuos con fustes rectos y sin bifurcaciones, a cada individuo se midió la altura comercial y total, diámetro a la altura del pecho y diámetros a lo largo del fuste, para determinar el volumen real de madera utilizando la fórmula de Smalian Newton, método gráfico y con un factor de forma de 0.70. En base a los datos medidos, se realiza un análisis comparativo del cálculo de volumen real por método empleado, los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas entre métodos de cálculo empleados. Los resultados muestran que el factor de forma por los métodos Smalian y Newton están dentro de un rango aceptable. Mientras que el factor de forma encontrado por el método gráfico se encuentra fuera del rango permitido. Además se seleccionó 5 ecuaciones de volumen potenciales las cuales presentaron mayor coeficiente de determinación ajustado y menor error cuadrático medio. Para la verificación del volumen comercial calculado con los factores de forma estimados frente a las ecuaciones de volumen se vuelve a calcular el volumen comercial a partir de los factores de forma y ecuaciones encontrados, se toma como valor exacto el cálculo de volumen comercial por la fórmula de Smalian y como valor de aproximación los demás métodos, para encontrar el error relativo el cual muestra que los cálculos del volumen comercial con los métodos de cálculo con un factor de forma de 0.70 y del método gráfico son los más ineficientes ya que sobrestiman en gran porcentaje el volumen comercial mientras que en los otros métodos el error relativo no es muy alto.

Palabras clave: FACTOR DE FORMA - ECUACIONES DE VOLUMEN - VOLUMEN COMERCIAL - PLANTACIÓN FORESTAL - DASOMETRÍA



XI. SUMMARY

The present investigation proposes: to determine the form factor of the species *Eucalyptus saligna* (Eucalyptus) in a commercial forest plantation of the sector Tambillo bajo, canton Cacha, province of Chimborazo; for which 100 individuals with straight shaft and without bifurcations are taken as sample, to each individual the commercial and total height, diameter at breast height and diameters along the stem were measured, to determine the real volume of the wood using the formula of Smalian Newton, the graphical method and with a form factor of 0.70, based on the measured data, a comparative analysis of the calculation of real volume is performed by the method used, the results obtained showed significant differences between calculation methods used. The results show that the form factor by the Smalian and Newton methods are within an acceptable range. While the form factor found by the graphical method is outside the allowed range. In addition, 5 potential volume equations were selected, which had a higher coefficient of completion adjusted to a lower mean square error. For the verification of the commercial volume calculated with the estimated form factors against the volume equations, the commercial volume is recalculated based on the form factors and equations found. The calculation of commercial volume is taken as the exact value by the formula of Smalian and as approximation value the other methods, to find the relative error which shows that the calculations of the commercial volume with the calculation methods with a form factor of 0.70 and the graphical method are the most inefficient and overestimate in large percentages the commercial volume while in the other methods the relative error is not very high.

Keywords: FORM FACTOR - VOLUME EQUATIONS - COMMERCIAL VOLUME - FLOOR PLANTATION - DASOMETRY



XII. BIBLIOGRAFIA

- Aguilar , M., & Velarde , J. (2001). *Tablas de volúmenes para la estimación del volumen forestal*. Uruapan: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
- Aguilar, C., Sequeira, A., & Peralta, E. (2016). *Factor de forma para la Tectona grandis L.F, empresa MLR-Forestal, Siuna, Costa Caribe Norte de Nicaragua*. *Agrociencia*, 50(1), 89-105.
- Arnold, R., Clarke, B., & Luo, J. (2004). *Trials of cold-tolerant eucalypt species in cooler regions of South Central China*. ACIAR Technical reports, 106.
- Barrios , A., López, A., & Nieto, V. (2014). *Predicción de volúmenes comerciales de Eucalyptus grandis A través de modelos de volumen total y de razón*. *Colombia Forestal*, 17(2), 137-149.
- Boland, J., Brooker, M., Chippendale, G., Hall, N., & Hyland, B. (1984). *Forest trees of Australia*. Melbourne: CSIRO.
- Bruce, D., & Schumaner, F. (1965). *Medición Forestal*. México: Herrero.
- Caillez, F. (1980). *Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento*. *Montes*, 22(1), 92.
- Cancino, J. (2012). *Dendrometría básica*. Universidad de Concepción. Facultad de Ciencias Forestales de Chile. Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente.
- Doncón , M. (2015). *“Elaboración de una tabla de volumen de pino (pinus radiata d.don), para el sector de Palmira, cantón Guamote, provincia de Chimborazo”*. . (Tesis de grado. Ingeniero Forestal). *Escuela de Ingeniería Forestal*. Riobamba, Ecuador.

- Ecuador Forestal. (2014). *Nuevo Decreto Ejecutivo No. 286 sobre transferencia de competencias del Ministerio del Ambiente al MAGAP responde a una lucha de más de 15 años por parte del Sector Forestal*. Recuperado el 18 de Octubre del 2018. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/actualidad-forestal/nuevo-decreto-ejecutivo-no-286-sobre-transferencia-de-competencias-del-ministerio-del-ambiente-al-magap-responde-a-una-lucha-de-mas-de-15-anos-por-parte-del-sector-forestal/>
- Ecuador Forestal. (2009). *Ficha técnica del Eucalipto*. Recuperado el 20 de Octubre del 2018. Disponible en: <http://ecuadorforestal.org/wp-content/uploads/2010/08/EUCALIPTO.pdf>
- Fernandez , A., & Silva, F. (2016). *El Género Eucalyptus (Myrtaceae) en Galicia: Claves y descripción*. Nova Acta Científica Compostelana, 23-51.
- Food and Agricultural Organization. (1981). *El eucalipto en la repoblacion forestal*. Roma: coleccion FAO: Montes.
- GreenFacts. (2018). *Madera en pie*. Recuperado el: 18 de Octubre del 2018. Disponible en: <https://www.greenfacts.org/es/glosario/mno/madera-en-pie.htm>
- Herrera, A. (1998). *Tablas de Volumen. Dasometria*. Sevilla, España: Wuancelun Editorial.
- Imaña, J. (1998). *Dasometría Práctica*. Brasilía: Universidad de Brasilía.
- Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI). (2013). *Memoria técnica: cantón Colta. clima e hidrología*. Riobamba – Ecuador: Ministerio de Agricultura (MAG); Coordinación General del Sistema de Información Nacional (CGSIN).
- Jovanovic, T., & Booth, T. (2002). *Improved species climatic profiles: a report for the RIRDC/L&W Australia/FWPRDC/MDBC Joint Venture Agroforestry Program*. Hobart: RIRDC Publication.

- Juela, T. (2015). *Caracterización de las propiedades físicas de la madera de Eucalyptus saligna Smith en la provincia de Loja*. Loja, Ecuador: Universidad Nacional de Loja.
- Kometter, R., & Maravi, E. (2007). *Metodología para elaborar tablas nacionales de conversión volumétrica de madera rolliza en pie a madera aserrada calidad exportación*. Managua: Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.
- Larco, I. (2011). *Ficha Técnica Eucalyptus saligna*. Recuperado el 17 de Octubre del 2018. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/273777340/Ficha-Tecnica-Eucalyptus-saligna>
- Lema, A. (1995). *Dasometría algunas aproximaciones estadísticas a las mediciones Forestales*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Martin, A. (1997). *Modelos de estimación del volumen de Eucalyptus camadulensis Dehnh, en plantaciones puras en el Ingenio San Antonio, Chinandengua. Managua, Nicaragua*: Universidad Nacional Agraria .
- Ministerio de Ambiente del Ecuador. (2012). *Sistema de clasificación de los Ecosistemas del Ecuador Continental*. Quito, Ecuador: Subsecretaría de Patrimonio Natural.
- Morás, G. (2010). *Tablas de volumen de Eucalyptus globulus ssp. globulus al sur del río Negro*. Montevideo, Uruguay: Universidad de la República, Facultad de Agronomía.
- Restrepo, C., & Alviar, M. (2010). *Tasa de descuento y rotación forestal: el caso del Eucalyptus Saligna*. *Lecturas de Economía*, 149-164.
- Riaño, M., & Lizarazo, I. (2017). *Estimating the volume of the wood of trees through the unique taper polynomial*. *Colombia Forestal*, 55-62.
- Riecke, F. (1940). *Über die Berechnung des körperlichen*. Stuttgart: Metzler, 75.

- Romanh, C., & Ramirez, H. (2010). *Dendrometría*. Chapingo: Universidad Autónoma Chapingo.
- Sadame, J. (Febrero de 2016). *Teste de Uso Múltiplo do Eucalyptus*. Recuperado el: 16 de Octubre del 2018. Disponible en: <https://www.projetotume.com/saligna>
- Sistema de Producción Forestal. (2014). “*Determinación de factores de forma de especies forestales comerciales*” .Ecuador: Ministerio de Agricultura.
- Unidad de inventarios forestales y plantaciones agroforestales UIFPA. (2017). "*Guía básica para inventarios en plantaciones forestales comerciales para la aprobación y control de programas de corta aprobados a través del sistema de producción forestal (SPF)*". Guayaquil, Guayas, Ecuador: Ministerio de Agricultura y Ganaderia.
- Viteri, A., & Cordero , E. (2010). *Documento del análisis del sector forestal en el contexto de adaptación y mitigación al cambio climático del sector uso de suelo, cambio de suelo y silvicultura (forestal) en el Ecuador*. Ecuador.
- Wabo, E. (2002). *Cubicación y forma de árboles, curso de Biometría Forestal* . Buenos Aires: Universidad Nacional de la Plata.

XIII. ANEXOS

Anexo 1. Base de datos para el cálculo del volumen real

DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA DE LA ESPECIE EN ESTUDIO

FÓRMULA PARA EL CÁLCULO DE VOLUMEN POR SECCIONES				F. SMALIAN			F. NEWTON			MÉTODO GRAFICO			TESTIGO		
No. Árbol	DAP (C _{1,3}) (m)	Altura (L) (m)	Vol. Cilindro (m ³)	Vol. Total (m ³)	factor forma	de	Vol. Total (m ³)	factor forma	de	Vol. Total (m ³)	factor forma	de	Vol. Total (m ³)	factor forma	de
1	0,33	34,2	2,96	1,2	0,44		1,2	0,43		1,28	0,43		2,0	0,7	
2	0,27	27,4	1,51	0,8	0,54		0,8	0,54		0,88	0,58		1,0	0,7	
3	0,21	22,2	0,75	0,3	0,43		0,3	0,44		0,41	0,55		0,5	0,7	
4	0,22	22,2	0,81	0,4	0,57		0,4	0,58		0,49	0,61		0,5	0,7	
5	0,25	24,3	1,22	0,6	0,55		0,6	0,56		0,63	0,52		0,8	0,7	
6	0,18	22,2	0,57	0,2	0,52		0,3	0,53		0,30	0,52		0,4	0,7	
7	0,33	34,3	2,85	1,2	0,43		1,2	0,44		1,45	0,51		1,9	0,7	
8	0,19	26,3	0,76	0,3	0,47		0,3	0,47		0,36	0,47		0,5	0,7	
9	0,39	34,4	4,11	1,7	0,42		1,7	0,42		1,76	0,43		2,8	0,7	
10	0,28	26,2	1,58	0,7	0,47		0,7	0,48		0,90	0,57		1,1	0,7	
11	0,18	19,5	0,50	0,2	0,44		0,2	0,45		0,27	0,55		0,3	0,7	
12	0,16	14,0	0,28	0,1	0,52		0,1	0,52		0,16	0,60		0,1	0,7	
13	0,17	16,3	0,38	0,2	0,53		0,2	0,55		0,28	0,73		0,2	0,7	
14	0,11	10,9	0,11	0,0	0,58		0,0	0,61		0,07	0,64		0,0	0,7	
15	0,13	12,4	0,16	0,1	0,61		0,1	0,61		0,11	0,71		0,1	0,7	

16	0,22	19,3	0,75	0,4	0,53	0,4	0,54	0,47	0,63	0,5	0,7
17	0,13	13,1	0,17	0,1	0,65	0,1	0,66	0,12	0,71	0,1	0,7
18	0,26	26,0	1,43	0,6	0,49	0,7	0,50	0,96	0,67	1,0	0,7
19	0,35	34,4	3,22	1,3	0,42	1,3	0,42	1,80	0,56	2,2	0,7
20	0,14	15,8	0,24	0,1	0,58	0,1	0,60	0,14	0,59	0,1	0,7
21	0,28	33,3	2,04	0,8	0,43	0,8	0,44	1,44	0,71	1,4	0,7
22	0,18	18,2	0,46	0,2	0,52	0,2	0,52	0,28	0,61	0,3	0,7
23	0,36	31,2	3,18	1,3	0,44	1,3	0,43	1,13	0,35	2,2	0,7
24	0,28	28,9	1,72	0,6	0,37	0,6	0,36	0,80	0,46	1,2	0,7
25	0,41	31,4	4,19	1,6	0,40	1,7	0,41	2,16	0,52	2,9	0,7
26	0,37	31,4	3,31	1,3	0,42	1,3	0,41	1,50	0,45	2,3	0,7
27	0,39	34,3	4,10	2,0	0,49	2,0	0,49	1,76	0,43	2,8	0,7
28	0,28	24,2	1,52	0,6	0,39	0,6	0,40	0,71	0,47	1,0	0,7
29	0,32	30,7	2,39	1,0	0,43	1,0	0,43	1,19	0,50	1,6	0,7
30	0,44	34,3	5,15	2,0	0,40	2,1	0,41	2,49	0,48	3,6	0,7
31	0,25	28,1	1,39	0,7	0,51	0,7	0,53	0,87	0,62	0,9	0,7
32	0,19	16,2	0,46	0,2	0,50	0,2	0,51	0,26	0,56	0,3	0,7
33	0,18	14,4	0,37	0,1	0,46	0,1	0,46	0,21	0,56	0,2	0,7
34	0,26	20,2	1,04	0,6	0,61	0,6	0,62	0,78	0,75	0,7	0,7
35	0,27	26,8	1,49	0,6	0,41	0,6	0,42	0,76	0,51	1,0	0,7
36	0,18	10,9	0,26	0,1	0,58	0,1	0,63	0,18	0,68	0,1	0,7
37	0,29	27,7	1,87	0,7	0,42	0,7	0,42	0,94	0,50	1,3	0,7
38	0,20	22,2	0,69	0,3	0,53	0,3	0,54	0,41	0,59	0,4	0,7
39	0,20	21,1	0,63	0,3	0,49	0,3	0,48	0,32	0,50	0,4	0,7
40	0,31	31,1	2,38	0,9	0,39	0,9	0,39	1,25	0,53	1,6	0,7
41	0,17	15,1	0,36	0,1	0,50	0,1	0,52	0,23	0,64	0,2	0,7
42	0,31	32,3	2,45	1,1	0,47	1,1	0,45	1,28	0,52	1,7	0,7
43	0,35	34,3	3,30	1,6	0,49	1,6	0,50	1,79	0,54	2,3	0,7

44	0,23	23,8	0,99	0,4	0,46	0,4	0,46	0,52	0,52	0,6	0,7
45	0,24	29,2	1,36	0,6	0,45	0,6	0,47	0,76	0,56	0,9	0,7
46	0,21	27,7	0,99	0,5	0,55	0,5	0,56	0,64	0,65	0,6	0,7
47	0,21	24,9	0,86	0,4	0,47	0,4	0,49	0,55	0,64	0,6	0,7
48	0,20	15,4	0,46	0,2	0,42	0,2	0,43	0,24	0,51	0,3	0,7
49	0,22	27,3	1,04	0,5	0,49	0,5	0,50	0,56	0,54	0,7	0,7
50	0,17	24,1	0,56	0,2	0,46	0,2	0,47	0,32	0,57	0,3	0,7
51	0,28	30,3	1,91	0,7	0,41	0,7	0,42	0,99	0,52	1,3	0,7
52	0,27	24,3	1,34	0,6	0,46	0,6	0,47	0,78	0,58	0,9	0,7
53	0,29	32,0	2,04	0,9	0,49	1,0	0,49	1,13	0,55	1,4	0,7
54	0,24	28,2	1,25	0,5	0,44	0,5	0,44	0,66	0,53	0,8	0,7
55	0,18	20,8	0,54	0,3	0,55	0,3	0,56	0,29	0,53	0,3	0,7
56	0,19	19,3	0,52	0,2	0,55	0,3	0,58	0,39	0,74	0,3	0,7
57	0,28	34,2	2,11	0,9	0,43	0,9	0,43	1,02	0,49	1,4	0,7
58	0,27	27,1	1,52	0,6	0,44	0,6	0,44	0,75	0,49	1,0	0,7
59	0,27	25,3	1,49	0,6	0,40	0,6	0,40	0,74	0,50	1,0	0,7
60	0,22	26,0	0,99	0,4	0,42	0,4	0,43	0,51	0,51	0,6	0,7
61	0,28	30,1	1,86	0,8	0,45	0,8	0,46	0,88	0,47	1,3	0,7
62	0,23	25,1	1,05	0,5	0,53	0,5	0,53	0,56	0,53	0,7	0,7
63	0,29	18,3	1,23	0,7	0,59	0,7	0,58	0,94	0,76	1,3	0,7
64	0,25	23,3	1,11	0,5	0,46	0,5	0,47	0,57	0,51	0,7	0,7
65	0,20	20,2	0,64	0,2	0,43	0,2	0,44	0,39	0,61	0,4	0,7
66	0,26	24,3	1,24	0,4	0,39	0,4	0,39	0,54	0,43	0,8	0,7
67	0,26	23,2	1,26	0,5	0,47	0,6	0,48	0,67	0,53	0,8	0,7
68	0,25	23,2	1,12	0,5	0,52	0,6	0,55	0,74	0,66	0,7	0,7
69	0,36	33,4	3,44	1,5	0,46	1,6	0,47	1,71	0,50	2,4	0,7
70	0,23	24,9	1,01	0,4	0,43	0,4	0,43	0,53	0,52	0,7	0,7
71	0,32	25,3	2,01	0,6	0,32	0,6	0,32	0,90	0,45	1,4	0,7

72	0,17	17,1	0,40	0,2	0,52	0,2	0,53	0,26	0,65	0,2	0,7
73	0,17	15,6	0,36	0,1	0,46	0,1	0,45	0,21	0,59	0,2	0,7
74	0,20	18,3	0,57	0,2	0,46	0,2	0,48	0,35	0,61	0,4	0,7
75	0,26	31,6	1,68	0,8	0,49	0,8	0,48	0,42	0,25	1,1	0,7
76	0,21	24,2	0,86	0,4	0,57	0,5	0,58	0,52	0,60	0,6	0,7
77	0,28	27,2	1,72	0,7	0,44	0,7	0,44	0,79	0,46	1,2	0,7
78	0,29	26,3	1,76	0,7	0,41	0,7	0,41	0,93	0,52	1,2	0,7
79	0,40	33,9	4,18	1,7	0,41	1,7	0,42	1,78	0,43	2,9	0,7
80	0,25	27,6	1,34	0,6	0,47	0,6	0,48	0,77	0,58	0,9	0,7
81	0,22	20,3	0,74	0,3	0,47	0,3	0,48	0,42	0,57	0,5	0,7
82	0,31	31,3	2,41	0,9	0,40	0,9	0,40	1,19	0,49	1,6	0,7
83	0,27	24,2	1,40	0,5	0,41	0,5	0,41	0,70	0,50	0,9	0,7
84	0,24	19,2	0,85	0,3	0,40	0,3	0,39	0,43	0,50	0,6	0,7
85	0,26	24,2	1,30	0,6	0,46	0,6	0,47	0,47	0,36	0,9	0,7
86	0,29	25,1	1,65	0,7	0,43	0,7	0,44	0,76	0,46	1,1	0,7
87	0,29	24,9	1,66	0,7	0,43	0,7	0,43	0,90	0,54	1,1	0,7
88	0,23	24,7	1,03	0,3	0,38	0,4	0,39	0,55	0,54	0,7	0,7
89	0,36	34,2	3,51	1,7	0,50	1,7	0,50	1,64	0,47	2,4	0,7
90	0,26	24,2	1,32	0,5	0,40	0,5	0,41	0,61	0,46	0,9	0,7
91	0,19	21,9	0,63	0,3	0,50	0,3	0,53	0,39	0,62	0,4	0,7
92	0,18	20,2	0,49	0,2	0,54	0,2	0,55	0,31	0,63	0,3	0,7
93	0,21	21,0	0,70	0,3	0,45	0,3	0,46	0,38	0,55	0,4	0,7
94	0,17	14,3	0,32	0,1	0,44	0,1	0,45	0,19	0,61	0,2	0,7
95	0,29	18,3	1,18	0,5	0,46	0,5	0,47	0,59	0,50	0,8	0,7
96	0,17	16,2	0,37	0,1	0,40	0,1	0,41	0,18	0,47	0,2	0,7
97	0,15	15,0	0,25	0,1	0,48	0,1	0,50	0,14	0,58	0,1	0,7
98	0,14	13,8	0,22	0,1	0,55	0,1	0,58	0,16	0,71	0,1	0,7
99	0,23	23,2	0,96	0,4	0,43	0,4	0,44	0,51	0,53	0,6	0,7

100 0,25 28,3 1,39 0,6 0,43 0,6 0,43 0,762 0,55 0,9 0,7

Anexo 2. Base de datos de las variables de predicción utilizadas dentro de las ecuaciones de volumen.

Variables de predicción utilizadas												
No. Árbol	VOL_I T (m3)	DAP (m)	Htotal (m)	AB (m2)	DAP ²	DAP ³	1/DAP	H ²	H*DAP	H*DAP ²	LN_V OL. IT	LN_H* DAP ²
1	1,281	0,332	34,240	0,087	0,110	0,037	3,012	1172,37	11,36	3,774	0,248	1,328
2	0,822	0,265	27,440	0,055	0,070	0,019	3,774	752,954	7,272	1,927	-	0,656
3	0,329	0,207	22,210	0,034	0,043	0,009	4,831	493,284	4,597	0,952	-	-
4	0,465	0,215	22,210	0,036	0,046	0,010	4,651	493,284	4,775	1,027	-	0,026
5	0,685	0,253	24,340	0,050	0,064	0,016	3,953	592,436	6,158	1,558	-	0,443
6	0,298	0,180	22,220	0,025	0,032	0,006	5,556	493,728	4,000	0,720	-	-
7	1,247	0,325	34,310	0,083	0,106	0,034	3,077	1177,17	11,15	3,624	0,221	1,288
8	0,361	0,192	26,360	0,029	0,037	0,007	5,208	694,850	5,061	0,972	-	-
9	1,720	0,390	34,420	0,119	0,152	0,059	2,564	1184,73	13,42	5,235	0,542	1,655
10	0,754	0,277	26,210	0,060	0,077	0,021	3,610	686,964	7,260	2,011	-	0,699
11	0,221	0,180	19,520	0,025	0,032	0,006	5,556	381,030	3,514	0,632	-	-
12	0,143	0,158	14,060	0,020	0,025	0,004	6,329	197,684	2,221	0,351	-	-
13	0,209	0,172	16,300	0,023	0,030	0,005	5,814	265,690	2,804	0,482	-	-
14	0,067	0,113	10,980	0,010	0,013	0,001	8,850	120,560	1,241	0,140	-	-
15	0,097	0,127	12,440	0,013	0,016	0,002	7,874	154,754	1,580	0,201	-	-
16	0,406	0,222	19,320	0,039	0,049	0,011	4,505	373,262	4,289	0,952	-	-
17	0,110	0,127	13,170	0,013	0,016	0,002	7,874	173,449	1,673	0,212	-	-
18	0,712	0,264	26,060	0,055	0,070	0,018	3,788	679,124	6,880	1,816	-	0,597
19	1,353	0,345	34,410	0,093	0,119	0,041	2,899	1184,04	11,87	4,096	0,302	1,410

20	0,146	0,140	15,800	0,015	0,020	0,003	7,143	249,640	2,212	0,310	-	-
21	0,894	0,279	33,300	0,061	0,078	0,022	3,584	1108,89	9,291	2,592	-	0,952
22	0,243	0,180	18,270	0,025	0,032	0,006	5,556	333,793	3,289	0,592	-	-
23	1,376	0,360	31,270	0,102	0,130	0,047	2,778	977,813	11,25	4,053	0,319	1,399
24	0,617	0,275	28,950	0,059	0,076	0,021	3,636	838,103	7,961	2,189	-	0,784
25	1,711	0,412	31,420	0,133	0,170	0,070	2,427	987,216	12,94	5,333	0,537	1,674
26	1,365	0,366	31,450	0,105	0,134	0,049	2,732	989,103	11,51	4,213	0,311	1,438
27	2,015	0,390	34,350	0,119	0,152	0,059	2,564	1179,92	13,39	5,225	0,701	1,653
28	0,606	0,283	24,230	0,063	0,080	0,023	3,534	587,093	6,857	1,941	-	0,663
29	1,024	0,315	30,700	0,078	0,099	0,031	3,175	942,490	9,671	3,046	0,024	1,114
30	2,097	0,437	34,310	0,150	0,191	0,083	2,288	1177,17	14,99	6,552	0,740	1,880
31	0,733	0,251	28,190	0,049	0,063	0,016	3,984	794,676	7,076	1,776	-	0,574
32	0,233	0,190	16,200	0,028	0,036	0,007	5,263	262,440	3,078	0,585	-	-
33	0,169	0,181	14,420	0,026	0,033	0,006	5,525	207,936	2,610	0,472	-	-
34	0,651	0,256	20,250	0,051	0,066	0,017	3,906	410,063	5,184	1,327	-	0,283
35	0,624	0,266	26,830	0,056	0,071	0,019	3,759	719,849	7,137	1,898	-	0,641
36	0,165	0,175	10,930	0,024	0,031	0,005	5,714	119,465	1,913	0,335	-	-
37	0,779	0,293	27,710	0,067	0,086	0,025	3,413	767,844	8,119	2,379	-	0,867
38	0,375	0,199	22,210	0,031	0,040	0,008	5,025	493,284	4,420	0,880	-	-
39	0,303	0,195	21,170	0,030	0,038	0,007	5,128	448,169	4,128	0,805	-	-
40	0,935	0,312	31,110	0,076	0,097	0,030	3,205	967,832	9,706	3,028	-	1,108
41	0,185	0,173	15,180	0,024	0,030	0,005	5,780	230,432	2,626	0,454	-	-
42	1,116	0,311	32,310	0,076	0,097	0,030	3,215	1043,93	10,04	3,125	0,110	1,139
43	1,638	0,350	34,310	0,096	0,123	0,043	2,857	1177,17	12,00	4,203	0,493	1,436
44	0,461	0,230	23,850	0,042	0,053	0,012	4,348	568,823	5,486	1,262	-	0,232
45	0,631	0,243	29,250	0,046	0,059	0,014	4,115	855,563	7,108	1,727	-	0,546
46	0,554	0,213	27,760	0,036	0,045	0,010	4,695	770,618	5,913	1,259	-	0,231
47	0,426	0,210	24,950	0,035	0,044	0,009	4,762	622,503	5,240	1,100	-	0,096

48	0,201	0,196	15,400	0,030	0,038	0,008	5,102	237,160	3,018	0,592	-	-
49	0,515	0,220	27,300	0,038	0,048	0,011	4,545	745,290	6,006	1,321	-	0,279
50	0,263	0,172	24,190	0,023	0,030	0,005	5,814	585,156	4,161	0,716	-	-
51	0,793	0,283	30,300	0,063	0,080	0,023	3,534	918,090	8,575	2,427	-	0,887
52	0,631	0,265	24,350	0,055	0,070	0,019	3,774	592,923	6,453	1,710	-	0,536
53	0,995	0,285	32,050	0,064	0,081	0,023	3,509	1027,20	9,134	2,603	-	0,957
54	0,552	0,237	28,260	0,044	0,056	0,013	4,219	798,628	6,698	1,587	-	0,462
55	0,303	0,182	20,850	0,026	0,033	0,006	5,495	434,723	3,795	0,691	-	-
56	0,299	0,185	19,300	0,027	0,034	0,006	5,405	372,490	3,571	0,661	-	-
57	0,908	0,280	34,220	0,062	0,078	0,022	3,571	1171,00	9,582	2,683	-	0,987
58	0,666	0,267	27,100	0,056	0,071	0,019	3,745	734,410	7,236	1,932	-	0,659
59	0,597	0,274	25,300	0,059	0,075	0,021	3,650	640,090	6,932	1,899	-	0,642
60	0,425	0,220	26,090	0,038	0,048	0,011	4,545	680,688	5,740	1,263	-	0,233
61	0,849	0,280	30,150	0,062	0,078	0,022	3,571	909,023	8,442	2,364	-	0,860
62	0,560	0,230	25,190	0,042	0,053	0,012	4,348	634,536	5,794	1,333	-	0,287
63	0,716	0,292	18,330	0,067	0,085	0,025	3,425	335,989	5,352	1,563	-	0,447
64	0,519	0,246	23,340	0,048	0,061	0,015	4,065	544,756	5,742	1,412	-	0,345
65	0,282	0,200	20,250	0,031	0,040	0,008	5,000	410,063	4,050	0,810	-	-
66	0,479	0,255	24,300	0,051	0,065	0,017	3,922	590,490	6,197	1,580	-	0,457
67	0,609	0,263	23,230	0,054	0,069	0,018	3,802	539,633	6,109	1,607	-	0,474
68	0,615	0,248	23,240	0,048	0,062	0,015	4,032	540,098	5,764	1,429	-	0,357
69	1,615	0,362	33,400	0,103	0,131	0,047	2,762	1115,56	12,09	4,377	0,479	1,476
70	0,433	0,227	24,900	0,040	0,052	0,012	4,405	620,010	5,652	1,283	-	0,249
71	0,649	0,318	25,300	0,079	0,101	0,032	3,145	640,090	8,045	2,558	-	0,939
72	0,210	0,172	17,170	0,023	0,030	0,005	5,814	294,809	2,953	0,508	-	-
73	0,162	0,171	15,660	0,023	0,029	0,005	5,848	245,236	2,678	0,458	-	-
74	0,269	0,198	18,350	0,031	0,039	0,008	5,051	336,723	3,633	0,719	-	-
75	0,808	0,260	31,600	0,053	0,068	0,018	3,846	998,560	8,216	2,136	-	0,759

76	0,502	0,213	24,220	0,036	0,045	0,010	4,695	586,608	5,159	1,099	-	0,094
77	0,753	0,284	27,230	0,063	0,081	0,023	3,521	741,473	7,733	2,196	-	0,787
78	0,722	0,292	26,340	0,067	0,085	0,025	3,425	693,796	7,691	2,246	-	0,809
79	1,745	0,396	33,930	0,123	0,157	0,062	2,525	1151,24	13,43	5,321	0,557	1,672
80	0,640	0,248	27,640	0,048	0,062	0,015	4,032	763,970	6,855	1,700	-	0,531
81	0,355	0,216	20,310	0,037	0,047	0,010	4,630	412,496	4,387	0,948	-	-
82	0,972	0,313	31,350	0,077	0,098	0,031	3,195	982,823	9,813	3,071	-	1,122
83	0,573	0,271	24,280	0,058	0,073	0,020	3,690	589,518	6,580	1,783	-	0,578
84	0,337	0,238	19,210	0,044	0,057	0,013	4,202	369,024	4,572	1,088	-	0,084
85	0,614	0,261	24,290	0,054	0,068	0,018	3,831	590,004	6,340	1,655	-	0,504
86	0,719	0,289	25,160	0,066	0,084	0,024	3,460	633,026	7,271	2,101	-	0,743
87	0,721	0,291	24,980	0,067	0,085	0,025	3,436	624,000	7,269	2,115	-	0,749
88	0,399	0,230	24,750	0,042	0,053	0,012	4,348	612,563	5,693	1,309	-	0,269
89	1,764	0,361	34,270	0,102	0,130	0,047	2,770	1174,43	12,37	4,466	0,568	1,497
90	0,534	0,263	24,240	0,054	0,069	0,018	3,802	587,578	6,375	1,677	-	0,517
91	0,331	0,191	21,990	0,029	0,036	0,007	5,236	483,560	4,200	0,802	-	-
92	0,269	0,175	20,240	0,024	0,031	0,005	5,714	409,658	3,542	0,620	-	-
93	0,324	0,206	21,060	0,033	0,042	0,009	4,854	443,524	4,338	0,894	-	-
94	0,144	0,168	14,320	0,022	0,028	0,005	5,952	205,062	2,406	0,404	-	-
95	0,556	0,286	18,370	0,064	0,082	0,023	3,497	337,457	5,254	1,503	-	0,407
96	0,153	0,171	16,270	0,023	0,029	0,005	5,848	264,713	2,782	0,476	-	-
97	0,125	0,145	15,020	0,017	0,021	0,003	6,897	225,600	2,178	0,316	-	-
98	0,127	0,142	13,820	0,016	0,020	0,003	7,042	190,992	1,962	0,279	-	-
99	0,423	0,230	23,200	0,042	0,053	0,012	4,348	538,240	5,336	1,227	-	0,205
100	0,604	0,250	28,300	0,049	0,063	0,016	4,000	800,890	7,075	1,769	-	0,570

Anexo 3. Base de datos del volumen comercial calculado a partir del dap y altura comercial de las 100 especies en estudio.

Arbol No.	DAP(m)	Htotal(m)	Volumen comercial en m3 de las 100 sp. En estudio								
			Vol. Ec 1	Vol. Ec 2	Vol. Ec 3	Vol. Ec 4	Vol. Ec 5	Vol. Smalian	Vol. Newton	Vol. Gráfico	Testigo
1	0,33	34,24	1,17	1,33	1,30	1,06	1,27	1,36	1,39	1,60	2,07
2	0,27	27,44	0,69	0,76	0,68	0,69	0,69	0,70	0,71	0,82	1,06
3	0,21	22,21	0,36	0,39	0,36	0,38	0,36	0,34	0,35	0,40	0,52
4	0,22	22,21	0,40	0,41	0,38	0,42	0,39	0,37	0,38	0,44	0,56
5	0,25	24,34	0,61	0,61	0,56	0,62	0,57	0,56	0,58	0,66	0,86
6	0,18	22,22	0,23	0,30	0,28	0,25	0,28	0,26	0,27	0,31	0,40
7	0,33	34,31	1,11	1,30	1,25	1,02	1,22	1,31	1,34	1,54	1,99
8	0,19	26,36	0,28	0,45	0,37	0,31	0,37	0,35	0,36	0,41	0,53
9	0,39	34,42	1,68	1,62	1,78	1,36	1,71	1,89	1,93	2,22	2,88
10	0,28	26,21	0,77	0,76	0,71	0,75	0,72	0,73	0,74	0,85	1,11
11	0,18	19,52	0,23	0,23	0,25	0,25	0,25	0,23	0,23	0,27	0,35
12	0,16	14,06	0,14	0,05	0,16	0,16	0,15	0,13	0,13	0,15	0,19
13	0,17	16,30	0,20	0,14	0,20	0,22	0,20	0,17	0,18	0,20	0,27
14	0,11	10,98	-0,01	-0,08	0,09	0,04	0,06	0,05	0,05	0,06	0,08
15	0,13	12,44	0,03	-0,04	0,11	0,07	0,09	0,07	0,07	0,09	0,11
16	0,22	19,32	0,43	0,34	0,36	0,46	0,36	0,34	0,35	0,40	0,52
17	0,13	13,17	0,03	-0,02	0,11	0,07	0,09	0,08	0,08	0,09	0,12
18	0,26	26,06	0,68	0,71	0,65	0,68	0,65	0,66	0,67	0,77	1,00
19	0,35	34,41	1,28	1,41	1,40	1,13	1,37	1,48	1,51	1,74	2,25
20	0,14	15,80	0,07	0,05	0,15	0,10	0,13	0,11	0,11	0,13	0,17
21	0,28	33,30	0,78	1,04	0,90	0,77	0,90	0,94	0,96	1,10	1,43
22	0,18	18,27	0,23	0,20	0,24	0,25	0,24	0,21	0,22	0,25	0,33
23	0,36	31,27	1,40	1,32	1,39	1,20	1,35	1,46	1,50	1,72	2,23
24	0,28	28,95	0,75	0,86	0,77	0,74	0,77	0,79	0,81	0,93	1,20
25	0,41	31,42	1,89	1,56	1,81	1,47	1,74	1,93	1,97	2,26	2,93
26	0,37	31,45	1,46	1,35	1,44	1,24	1,40	1,52	1,56	1,79	2,32
27	0,39	34,35	1,68	1,62	1,78	1,36	1,70	1,89	1,93	2,22	2,87
28	0,28	24,23	0,81	0,70	0,69	0,79	0,69	0,70	0,72	0,82	1,07
29	0,32	30,70	1,04	1,10	1,05	0,96	1,05	1,10	1,12	1,29	1,67
30	0,44	34,31	2,15	1,84	2,22	1,59	2,09	2,37	2,42	2,78	3,60
31	0,25	28,19	0,60	0,73	0,63	0,61	0,64	0,64	0,66	0,75	0,98
32	0,19	16,20	0,27	0,17	0,24	0,30	0,23	0,21	0,22	0,25	0,32
33	0,18	14,42	0,23	0,11	0,20	0,26	0,19	0,17	0,17	0,20	0,26
34	0,26	20,25	0,63	0,47	0,48	0,64	0,49	0,48	0,49	0,56	0,73
35	0,27	26,83	0,69	0,74	0,67	0,69	0,68	0,69	0,70	0,81	1,04

36	0,18	10,93	0,21	0,01	0,15	0,23	0,14	0,12	0,12	0,14	0,18
37	0,29	27,71	0,88	0,88	0,83	0,84	0,84	0,86	0,88	1,01	1,31
38	0,20	22,21	0,32	0,36	0,34	0,34	0,34	0,32	0,32	0,37	0,48
39	0,20	21,17	0,30	0,32	0,31	0,32	0,31	0,29	0,30	0,34	0,44
40	0,31	31,11	1,01	1,10	1,05	0,95	1,04	1,09	1,12	1,28	1,66
41	0,17	15,18	0,20	0,11	0,19	0,22	0,19	0,16	0,17	0,19	0,25
42	0,31	32,31	1,01	1,15	1,08	0,94	1,07	1,13	1,15	1,33	1,72
43	0,35	34,31	1,32	1,42	1,44	1,15	1,40	1,52	1,55	1,78	2,31
44	0,23	23,85	0,48	0,51	0,46	0,50	0,47	0,46	0,47	0,54	0,69
45	0,24	29,25	0,55	0,74	0,62	0,57	0,63	0,62	0,64	0,73	0,95
46	0,21	27,76	0,39	0,57	0,46	0,41	0,47	0,46	0,46	0,53	0,69
47	0,21	24,95	0,37	0,48	0,41	0,39	0,42	0,40	0,41	0,47	0,60
48	0,20	15,40	0,30	0,17	0,24	0,33	0,24	0,21	0,22	0,25	0,33
49	0,22	27,30	0,42	0,58	0,48	0,45	0,49	0,48	0,49	0,56	0,73
50	0,17	24,19	0,20	0,33	0,28	0,22	0,28	0,26	0,26	0,30	0,39
51	0,28	30,30	0,81	0,94	0,85	0,79	0,85	0,88	0,90	1,03	1,33
52	0,27	24,35	0,69	0,65	0,61	0,69	0,62	0,62	0,63	0,73	0,94
53	0,29	32,05	0,82	1,02	0,91	0,80	0,91	0,94	0,96	1,10	1,43
54	0,24	28,26	0,52	0,68	0,57	0,54	0,58	0,57	0,59	0,67	0,87
55	0,18	20,85	0,24	0,27	0,27	0,26	0,27	0,25	0,25	0,29	0,38
56	0,19	19,30	0,25	0,24	0,26	0,28	0,26	0,24	0,24	0,28	0,36
57	0,28	34,22	0,79	1,08	0,93	0,77	0,93	0,97	0,99	1,14	1,47
58	0,27	27,10	0,70	0,76	0,68	0,70	0,69	0,70	0,71	0,82	1,06
59	0,27	25,30	0,75	0,71	0,67	0,74	0,68	0,69	0,70	0,81	1,04
60	0,22	26,09	0,42	0,55	0,46	0,45	0,47	0,46	0,47	0,54	0,69
61	0,28	30,15	0,79	0,92	0,83	0,77	0,83	0,85	0,87	1,00	1,30
62	0,23	25,19	0,48	0,55	0,49	0,50	0,49	0,48	0,49	0,57	0,73
63	0,29	18,33	0,87	0,49	0,56	0,84	0,57	0,56	0,58	0,66	0,86
64	0,25	23,34	0,57	0,55	0,51	0,58	0,52	0,51	0,52	0,60	0,78
65	0,20	20,25	0,32	0,31	0,31	0,35	0,31	0,29	0,30	0,34	0,45
66	0,26	24,30	0,62	0,61	0,57	0,63	0,58	0,57	0,58	0,67	0,87
67	0,26	23,23	0,67	0,60	0,58	0,68	0,59	0,58	0,59	0,68	0,88
68	0,25	23,24	0,58	0,55	0,52	0,60	0,53	0,52	0,53	0,61	0,79
69	0,36	33,40	1,42	1,44	1,50	1,21	1,45	1,58	1,62	1,86	2,41
70	0,23	24,90	0,46	0,53	0,47	0,48	0,48	0,46	0,47	0,54	0,71
71	0,32	25,30	1,06	0,87	0,89	0,98	0,89	0,92	0,94	1,09	1,41
72	0,17	17,17	0,20	0,16	0,21	0,22	0,21	0,18	0,19	0,22	0,28
73	0,17	15,66	0,19	0,12	0,20	0,21	0,19	0,17	0,17	0,19	0,25
74	0,20	18,35	0,31	0,25	0,28	0,34	0,28	0,26	0,27	0,31	0,40
75	0,26	31,60	0,65	0,89	0,75	0,66	0,76	0,77	0,79	0,91	1,17
76	0,21	24,22	0,39	0,47	0,41	0,41	0,41	0,40	0,41	0,47	0,60
77	0,28	27,23	0,81	0,83	0,77	0,79	0,78	0,79	0,81	0,93	1,21
78	0,29	26,34	0,87	0,82	0,79	0,84	0,79	0,81	0,83	0,95	1,23

79	0,40	33,93	1,73	1,62	1,81	1,39	1,73	1,92	1,96	2,26	2,93
80	0,25	27,64	0,58	0,70	0,61	0,60	0,62	0,61	0,63	0,72	0,93
81	0,22	20,31	0,40	0,36	0,36	0,43	0,36	0,34	0,35	0,40	0,52
82	0,31	31,35	1,02	1,12	1,06	0,95	1,05	1,11	1,13	1,30	1,69
83	0,27	24,28	0,73	0,66	0,64	0,72	0,64	0,64	0,66	0,76	0,98
84	0,24	19,21	0,52	0,38	0,40	0,54	0,41	0,39	0,40	0,46	0,60
85	0,26	24,29	0,66	0,63	0,59	0,67	0,60	0,60	0,61	0,70	0,91
86	0,29	25,16	0,85	0,76	0,74	0,82	0,75	0,76	0,78	0,89	1,16
87	0,29	24,98	0,86	0,76	0,75	0,83	0,75	0,76	0,78	0,90	1,16
88	0,23	24,75	0,48	0,54	0,48	0,50	0,49	0,47	0,48	0,56	0,72
89	0,36	34,27	1,41	1,48	1,53	1,21	1,48	1,61	1,65	1,89	2,46
90	0,26	24,24	0,67	0,64	0,60	0,68	0,61	0,61	0,62	0,71	0,92
91	0,19	21,99	0,28	0,33	0,31	0,30	0,31	0,29	0,30	0,34	0,44
92	0,18	20,24	0,21	0,24	0,25	0,23	0,25	0,22	0,23	0,26	0,34
93	0,21	21,06	0,35	0,35	0,34	0,37	0,34	0,32	0,33	0,38	0,49
94	0,17	14,32	0,18	0,08	0,18	0,20	0,17	0,15	0,15	0,17	0,22
95	0,29	18,37	0,83	0,48	0,54	0,80	0,55	0,54	0,55	0,64	0,83
96	0,17	16,27	0,19	0,13	0,20	0,21	0,19	0,17	0,18	0,20	0,26
97	0,15	15,02	0,09	0,05	0,15	0,12	0,13	0,11	0,12	0,13	0,17
98	0,14	13,82	0,08	0,02	0,14	0,11	0,12	0,10	0,10	0,12	0,15
99	0,23	23,20	0,48	0,49	0,45	0,50	0,46	0,44	0,45	0,52	0,67
100	0,25	28,30	0,59	0,73	0,63	0,61	0,64	0,64	0,65	0,75	0,97

Anexo 4. Análisis descriptivo de los 9 métodos de cálculo a partir de su volumen comercial.

Volumen comercial en m3

Método de Cálculo		Estadístico	típ.	Error
EC_1	Media	,633900	,0439922	
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior ,546610	Límite superior ,721190	
	Media recortada al 5%	,600667		
	Mediana	,580000		
	Varianza	,194		
	Desv. típ.	,4399217		
	Mínimo	-,0100		
	Máximo	2,1500		
	Rango	2,1600		
	Amplitud intercuartil	,5325		
	Asimetría	1,135	,241	
	Curtosis	1,275	,478	
	EC_2	Media	,636700	,0443086
Intervalo de confianza para la media al 95%		Límite inferior ,548782	Límite superior ,724618	
Media recortada al 5%		,616889		
Mediana		,575000		
Varianza		,196		
Desv. típ.		,4430862		
Mínimo		-,0800		
Máximo		1,8400		
Rango		1,9200		
Amplitud intercuartil		,5550		
Asimetría		,664	,241	
Curtosis		-,120	,478	
EC_3		Media	,636100	,0450342
	Intervalo de confianza para la media al 95%	Límite inferior ,546742	Límite superior ,725458	
	Media recortada al 5%	,595667		

	Mediana	,550000	
	Varianza	,203	
	Desv. típ.	,4503419	
	Mínimo	,0900	
	Máximo	2,2200	
	Rango	2,1300	
	Amplitud intercuartil	,4975	
	Asimetría	1,346	,241
	Curtosis	1,547	,478
EC_4	Media	,606700	,0350290
	Intervalo de confianza para la media al 95%	de Límite inferior ,537195 para la Límite superior ,676205	
	Media recortada al 5%	,590111	
	Mediana	,600000	
	Varianza	,123	
	Desv. típ.	,3502901	
	Mínimo	,0400	
	Máximo	1,5900	
	Rango	1,5500	
	Amplitud intercuartil	,4850	
	Asimetría	,632	,241
	Curtosis	-,065	,478
EC_5	Media	,629900	,0434229
	Intervalo de confianza para la media al 95%	de Límite inferior ,543740 para la Límite superior ,716060	
	Media recortada al 5%	,594778	
	Mediana	,560000	
	Varianza	,189	
	Desv. típ.	,4342287	
	Mínimo	,0600	
	Máximo	2,0900	
	Rango	2,0300	
	Amplitud intercuartil	,5000	
	Asimetría	1,200	,241
	Curtosis	1,136	,478
<u>Vol_Smalian</u>	Media	,645330	,0489846

	Intervalo de confianza para la media al 95%	de Límite inferior	,548134	
		para la Límite superior	,742526	
	Media recortada al 5%		,601389	
	Mediana		,553000	
	Varianza		,240	
	Desv. típ.		,4898464	
	Mínimo		,0510	
	Máximo		2,3670	
	Rango		2,3160	
	Amplitud intercuartil		,5390	
	Asimetría		1,344	,241
	Curtosis		1,544	,478
Vol_Newton	Media		,659440	,0500565
	Intervalo de confianza para la media al 95%	de Límite inferior	,560117	
		para la Límite superior	,758763	
	Media recortada al 5%		,614556	
	Mediana		,565000	
	Varianza		,251	
	Desv. típ.		,5005647	
	Mínimo		,0520	
	Máximo		2,4190	
	Rango		2,3670	
	Amplitud intercuartil		,5510	
	Asimetría		1,344	,241
	Curtosis		1,544	,478
Vol_Gráfico	Media		,757530	,0575138
	Intervalo de confianza para la media al 95%	de Límite inferior	,643410	
		para la Límite superior	,871650	
	Media recortada al 5%		,705956	
	Mediana		,649000	
	Varianza		,331	
	Desv. típ.		,5751376	
	Mínimo		,0590	
	Máximo		2,7790	
	Rango		2,7200	

	Amplitud intercuartil	,6330	
	Asimetría	1,344	,241
	Curtosis	1,544	,478
Vol_Testigo	Media	,982060	,0745491
	Intervalo de Límite inferior	,834138	
	confianza para la Límite superior	1,129982	
	media al 95%		
	Media recortada al 5%	,915222	
	Mediana	,841500	
	Varianza	,556	
	Desv. típ.	,7454909	
	Mínimo	,0770	
	Máximo	3,6020	
	Rango	3,5250	
	Amplitud intercuartil	,8208	
	Asimetría	1,344	,241
	Curtosis	1,543	,478

Anexo 5. Coordenadas geográficas de cada árbol en estudio con el datum Coordenadas
Proyectadas UTM Zona 17S

Arbol N°	POINT X	POINT Y	Arbol N°	POINT X	POINT Y	Arbol N°	POINT X	POINT Y
1	721653,027565	9792934,21189	36	721562,061575	9792876,09598	71	721537,522582	9792613,1333
2	721604,543087	9792930,26187	37	721483,176839	9792783,83781	72	721464,709235	9792530,90615
3	721632,813908	9792922,18949	38	721541,587693	9792635,21185	73	721480,901142	9792558,99357
4	721655,022459	9792912,12643	39	721561,705369	9792562,91674	74	721497,095335	9792589,08866
5	721659,035064	9792888,03112	40	721549,539714	9792522,77935	75	721489,056479	9792625,23381
6	721630,748227	9792882,04059	41	721543,447743	9792494,68042	76	721489,095298	9792659,3623
7	721590,359764	9792892,12431	42	721600,105787	9792580,94109	77	721462,91073	9792725,64159
8	721600,384429	9792825,88336	43	721624,437103	9792661,21589	78	721487,171184	9792743,68205
9	721553,954214	9792852,01445	44	721642,687866	9792723,42956	79	721503,360799	9792769,76194
10	721507,457835	9792819,94632	45	721606,362224	9792753,58432	80	721529,650385	9792795,83035
11	721533,651572	9792761,69726	46	721620,575249	9792817,81016	81	721549,832066	9792779,74692
12	721574,024051	9792737,56061	47	721658,98256	9792841,85723	82	721582,183932	9792807,816
13	721620,529587	9792777,65896	48	721656,791276	9792691,29251	83	721568,066793	9792827,90767
14	721638,787168	9792845,89532	49	721652,698736	9792645,12322	84	721604,278285	9792697,37495
15	721557,943997	9792807,84356	50	721652,650743	9792602,96446	85	721582,033231	9792675,31708
16	721616,423373	9792779,44432	51	721660,694143	9792570,83429	86	721567,84988	9792637,18954
17	721642,726694	9792757,55808	52	721688,948897	9792548,71892	87	721608,238315	9792627,10576
18	721642,790632	9792813,76977	53	721618,237721	9792538,76163	88	721622,346275	9792598,98383
19	721511,390556	9792725,58647	54	721628,371971	9792568,86353	89	721648,535321	9792536,71957
20	721517,393457	9792675,39061	55	721543,555144	9792589,0357	90	721664,672397	9792516,62556
21	721557,79103	9792673,33709	56	721495,196371	9792695,49146	91	721608,105756	9792510,6673
22	721513,307801	9792635,24403	57	721523,476269	9792695,4593	92	721642,758665	9792785,66393
23	721517,283829	9792579,02779	58	721490,845706	9792422,4681	93	721681,314369	9792940,20243
24	721490,95312	9792516,82335	59	721515,119873	9792452,55388	94	721701,518906	9792944,19458
25	721478,778336	9792468,65575	60	721547,453437	9792464,56244	95	721681,286981	9792916,1117
26	721587,944696	9792544,81881	61	721569,693911	9792482,60517	96	721652,952249	9792867,96241
27	721594,128064	9792653,22013	62	721581,841292	9792506,68208	97	721616,635683	9792906,14738
28	721632,478234	9792627,07817	63	721632,341087	9792506,62457	98	721576,251736	9792920,24621
29	721577,920145	9792611,07977	64	721688,900874	9792506,56015	99	721531,702328	9792823,93388
30	721628,504505	9792685,30201	65	721705,732232	9792588,40256	100	721551,765305	9792703,45737
31	721576,002942	9792701,42224	66	721672,841534	9792594,91122			
32	721541,699587	9792733,58225	67	721672,87582	9792625,02462			
33	721580,122847	9792771,68223	68	721682,077175	9792676,79887			
34	721586,267288	9792845,95504	69	721652,728441	9792671,2215			
35	721612,552332	9792868,00834	70	721511,187301	9792546,91374			