UNIVERSIDAD NACIONAL INTERCULTURAL DE LA AMAZONIA

FACULTAD DE INGENIERIA Y CIENCIAS AMBIENTALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AGROFORESTAL ACUICOLA

Factor de forma de *Allantoma decandra* (cachimbo colorado) y *Brosimun utile* (panguana) mediante el cálculo del volumen con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton; en un bosque de Ucayali, Amazonia peruana

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO AGROFORESTAL ACUÍCOLA

PRESENTADO POR:

Bach. Tatiana Anali Honorio Creo

ASESOR:

M. Sc. Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister

Yarinacocha, Perú

2021

ANEXO 16. ACTA DE CALIFICACIÓN DE LA SUSTENTACIÓN DE LA TESIS

En la sala destinada para la sustentación de la tesis Plataforma Google Meet, Campus universitario de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía, en el distrito de Yarinacocha, Provincia de Coronel Portillo, Ciudad de Pucallpa, a 10:00 horas del día dieciocho de noviembre de 2021, se reunió el Jurado de Tesis presidido por **Dra. Ayda Guisella Avalos Díaz**, e integrado por: **Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo** y **Ing. MSc. Karen Stephanny Córdova Flores** en calidad de miembros, con la exclusiva finalidad de evaluar la sustentación de tesis titulada "**Factor de forma de *Allantoma decandra* (cachimbo colorado) y *Brosimun utile* (panguana) mediante el cálculo del volumen con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton; en un bosque de Ucayali, Amazonia Peruana",** cuya responsabilidad corresponde a la Bachiller:
TATIANA ANALÍ HONORIO CREO a fin de optar el Título Profesional de **INGENIERO AGROFORESTAL ACUICOLA**.
Terminada la sustentación, el autor de la tesis respondió a las preguntas formuladas por los miembros del jurado. Cuya evaluación se consolida según la tabla y parámetros cuantitativos que siguen:

Presidente	Dra. Ayda Guisella Avalos Díaz	23
Miembro	Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo	27
MIembro	Ing. MSc. Karen Stephanny Córdova Flores	28
	Promedio	26

El Jurado después de deliberar y calibrar los aportes de la tesis y la fundamentación del sustentante, compatibilizo el resultado cuantitativo con la tabla cualitativa equivalente. sobre aspectos relacionados con el trabajo, contenido y sustentación del mismo y con las sugerencias pertinentes, declara la sustentación como **BUENO** asignándole un calificativo de **26** puntos, según el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonía.

Siendo las 11:00 horas del mismo día se dio por terminado el acto de sustentación firmando los miembros del Jurado en señal de conformidad.

Dra. Ayda Guisella Avalos Díaz **Presidente**	Dra. Alina Luisa Ypushima Pinedo **Miembro**
Ing. MSc. Karen Stephanny Córdova Flores **Miembro**	

Nombre Asesor: **Octavio Francisco Javier Galván Gildemeister**

Distribución: Integrantes del Jurado de Tesis, tesista y archivo FICA (Todas con firmas en original).

"*Año del Bicentenario del Perú: 200 años de Independencia*"

CONSTANCIA

N°0074

ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACION SISTEMA ANTIPLAGIO TURNITIN

La Biblioteca Central, hace constar por la presente, que le informe Final (Tesis) titulado:

FACTOR DE FORMA DE ALLANTOMA DECANDRA (CACHIMBO COLORADO) Y BROSIMUN UTILE (PANGUANA) MEDIANTE EL CÁLCULO DEL VOLUMEN CON LAS FÓRMULAS DE SMALIAN, HUBER Y NEWTON; EN UN BOSQUE DE UCAYALI, AMAZONIA PERUANA.

Cuyo autor es : **HONORIO CREO, TATIANA ANALI.**

Facultad : FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AMBIENTALES

Escuela Profesional : INGENIERÍA AGROFORESTAL ACUÍCOLA.

Después de realizado el análisis correspondiente en el Sistema Antiplagio, dicho documento presenta un porcentaje de similitud de 7%.

En tal sentido, de acuerdo a los criterios de porcentaje establecido en el **artículo 9 de la DIRECTIVA DE USO DEL SISTEMA ANTIPLAGIO**, aprobada con **RESOLUCIÓN N°164-2021-UNIA-CO**, el cual indica que no se debe superar el 24%. Se declara, que el trabajo de investigación: **SI contiene un porcentaje aceptable de similitud y/o plagio, por lo que SI se aprueba su originalidad.**

En señal de conformidad y verificación se FIRMA Y SELLA la presente constancia.

Fecha: 10/12/2021

Dr. Jesús Taylor Dávila Frrancia

DEDICATORIA

A Dios por brindarme la vida, salud y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional y por ser el inspirador y darme la fuerza para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres José Honorio y Angela Creo, a mis hermanos José, Mercedes y Maricarmen quienes con su amor, paciencia y esfuerzo hicieron posible el logro de este sueño hecho realidad, gracias por sus oraciones y consejos de vida

A mi difunto tío Gilder Creo por todo el cariño y apoyo brindado en vida que me ha permitido llegar a cumplir este sueño.

A Luis Chung quien fue el que me impulso en el proyecto con mayor fuerza, por todo el amor brindado y apoyo en los momentos más difíciles.

Finalmente quiero dedicar esta tesis a mi mayor inspiración y el mayor regalo que Dios me dio a mi hija Angela Celeste.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia (UNIA), alma mater de la Interculturalidad, por la acogida y la oportunidad de formarme en mi carrera profesional.

A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería Agroforestal Acuícola por sus consejos y enseñanzas que contribuyeron en mi formación profesional.

Al asesor M.Sc. Galván Gildemeister, Octavio Francisco Javier por la confianza, apoyo, paciencia y consejos brindados durante todo el proceso de realización de la presente tesis

Al Inge. David Aarón Simón Sabino, regente forestal de la CC. NN Santa Rosa de Aguaytía por la amistad y apoyo brindado en la ejecución de la presente tesis.

Al Prof. Gilder Estanislao Creo Pinedo, presidente y/o jefe de la CC. NN Santa Rosa de Aguaytía, por la oportunidad, facilidad y el apoyo brindado
en la ejecución de la presente tesis.

A mi estimada amiga Greysi Merlín Rojas Quiñones, por su amistad, paciencia y el apoyo brindado

ÍNDICE

	Pág
I. INTRODUCCIÓN	11
II. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Forma del fuste	13
2.1.1. Tipos dendrométricos	13
2.1.2. Cocientes de forma y coeficientes mórficos	15
a. Cocientes de forma o coeficientes de decrecimiento	15
b. Coeficientes mórficos (coeficientes o factores de forma)	16
2.1.3. Funciones de perfil del tronco	17
2.2. Volumen del fuste	17
2.2.1. Cubicación del fuste por tipos dendrométricos	17
2.2.2. Cubicación con el empleo de coeficientes de forma	18
2.2.3. Cubicación del fuste en árboles apeados	18
2.3. Comparaciones de las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton	21
2.4. Descripción de *Allantoma decandra* (Ducke) S.A. Mori, Ya Y. Huang & Prance	22
2.5. Descripción de *Brosimum utile* (*kunth) oken*	22
III. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. Ubicación y descripción del área de estudio	24
3.2. Identificación y descripción del material experimental	24
3.3. Procedimientos	24
3.3.1. En el bosque	24
a. Ubicación de los árboles	25
b. Recolección, preparación y secado de las muestras botánicas	25
c. Medición de los diámetros del fuste de los árboles	25
3.3.2. En el gabinete	26
a. Elaboración de la base de datos	26
b. Depuración de la base de datos	26
c. Cálculo del volumen del cilindro	27
d. Cálculo del volumen del fuste	27
e. Cálculo del volumen de las secciones del fuste	27
f. Cálculo de los factores de forma	28
3.4. Variables	29
3.5. Población y muestra	29
3.6. Tratamientos	30
3.7. Recolección de los datos	30
3.7.1. Fuentes de información	30
3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición	30
3.7.3. Tipo de muestreo	30
3.7.4. Técnicas para recolección de datos	30
3.8. Procesamiento de los datos	30
IV. RESULTADOS	32
4.1. Factores de forma de *Allantoma decandra*	32
4.1.1. Comparación descriptiva de los factores de forma de *Allantoma decandra*	32

Pág
4.1.2. Comparación inferencial de los factores de forma 34
4.2. Factores de forma para *Brosimum utile* 35
4.2.1. Comparación descriptiva de los factores de forma de *Brosimum utile* 35
4.2.2. Comparación inferencial de los factores de forma de *Brosimum utile* 37
V. DISCUSIONES 38
VI. CONCLUSIONES 41
VII. BIBLIOGRAFÍA 42
VIII. ANEXOS 44

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Ecuaciones por tipos dendrométricos	14
Cuadro 2. Cociente de forma base por tipo dendrométrico	16
Cuadro 3. Exactitud del volumen por fórmula de cubicación y tipo dendrométrico	20
Cuadro 4. Volúmenes (m^3 por troza) por fórmula de cubicación para *Gmelina arborea*, *Acacia mangium* y *Terminalia ivorensis*	21
Cuadro 5. Coordenadas UTM de la *Parcela de Corta N° 2* de la Comunidad Nativa Santa Rosa	24
Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de los factores de forma de *Allantoma decandra*	32
Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre factores de forma para *Allantoma decandra*	34
Cuadro 8. Estadísticos descriptivos de los factores de forma de *Brosimum utile*	35
Cuadro 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre factores de forma para *Brosimum utile*	37

INDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Medición y seccionamiento de los fustes	26
Figura 2. Forcípula de aluminio	26
Figura 3. Forcípula de madera	26
Figura 4. Factor de forma de *Allantoma decandra* por fórmula de cubicación	33
Figura 5. Valores individuales y mediana del factor de forma de *Allantoma decandra* por fórmula de cubicación	33
Figura 6. Gráfica de probabilidad normal y prueba de Kolmogorov-Smirnov para el factor de forma de *Allantoma decandra*	34
Figura 7. Factor de forma de *Brosimum utile* por fórmula de cubicación	36
Figura 8. Valores individuales y mediana del factor de forma de *Brosimum utile* por fórmula de cubicación	36
Figura 9. Gráfica de probabilidad normal y prueba de Kolmogorov-Smirnov para el factor de forma de *Brosimum utile*	37

INDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1. Preservado y secado de las muestras botánicas 44

Anexo 2. Embalaje de las muestras botánicas 44

Anexo 3. Formato de campo 45

Anexo 4. Prueba de Bartlett para los factores de forma de *Allantoma decandra* 45

Anexo 5. Análisis de varianza con diseño experimental de bloques completos al azar de los factores de forma entre fórmulas de cubicación para *Allantoma decandra* 46

Anexo 6. Prueba de Bartlett para los factores de forma de *Brosimum utile* 46

Anexo 7. Análisis de varianza con diseño experimental de bloques completos al azar de los factores de forma entre fórmulas de cubicación para *Brosimum utile* 46

RESUMEN

El objetivo fue determinar el factor de forma de *Allantoma decandra* y *Brosimum utile* con base en las fórmulas de Huber, Smalian y Newton, correspondientes con la medición del volumen del fuste en secciones de dos metros. Se trabajó en un bosque de colina baja, en la Comunidad Nativa Santa Rosa, Ucayali, Amazonia peruana. Se seleccionaron, al azar, 14 árboles de *Allantoma decandra* y 30 árboles de *Brosimum utile*. Para *A. decandra* se encontró que la mediana fue 0.633 (con Huber), 0.617 (con Smalian) y 0.629 (con Newton). El análisis de varianza (p = 1.000) no reportó diferencias entre los factores de forma. Para *B. utile* se encontró que la mediana fue 0.718 (con Huber), 0.713 (con Smalian) y 0.716 (con Newton). El análisis de varianza no halló diferencias (p = 0.899). En todos los casos, la desviación estándar no fue menor de 0.1. Se consideró adecuado el empleo de las tres fórmulas para el cálculo del factor de forma de *Allantoma decandra* y *Brosimum utile*.

ABSTRACT

The objective was to determine the form factor of *Allantoma decandra* and *Brosimum utile* based on the formulas of Huber, Smalian and Newton, corresponding to the measurement of the volume of the stem in sections of two meters. Work was carried out in a low hill forest, in the Santa Rosa Native Community, Ucayali, Peruvian Amazon. 14 *Allantoma decandra* trees and 30 *Brosimum utile* trees were randomly selected. For *Allantoma decandra* it was found that the median was 0.633 (with Huber), 0.617 (with Smalian) and 0.629 (with Newton). The analysis of variance (p = 1,000) did not report differences between the form factors. For *Brosimum utile* it was found that the median was 0.718 (with Huber), 0.713 (with Smalian) and 0.716 (with Newton). The analysis of variance found no differences (p = 0.899). In all cases, the standard deviation was not less than 0.1. The use of the three formulas for the calculation of *Allantoma decandra* and *Brosimum utile* was considered adequate.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente la administración del recurso forestal está a cargo de una autoridad nacional forestal y de fauna silvestre (el *Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre* o SERFOR), las autoridades regionales y de fauna silvestre (los gobiernos regionales) y los municipios de zonas rurales tienen competencias en materia forestal (a través de la administración y el uso de los bosques locales). A las autoridades forestales, antes mencionadas, se suma el *Organismo de Supervisión de los Recursos Forestales y de Fauna Silvestre* (OSINFOR), el mismo que se encarga de supervisar y fiscalizar el aprovechamiento de los recursos y servicios de los ecosistemas vegetales que el Estado otorga mediante títulos habilitantes.

Pero la creación de una burocracia forestal desmedida también ha creado tensiones entre las autoridades y los usuarios del bosque. Un caso significativo es la dificultad que persiste para cuantificar, con precisión, los volúmenes de madera, en inventarios forestales y, sobre todo, en censos comerciales; debido al uso indiscriminado del factor mórfico de 0.65 o 0.70.

El uso del factor mórfico de 0.65 data de hace más de una década, cuando, a partir de la aprobación de la Ley N° 27308, *Ley Forestal y de Fauna Silvestre*, en el año 2000; se inició en el Perú la obligatoriedad de aprovechar los bosques amazónicos mediante planes de manejo forestal, basados en inventarios forestales y censos comerciales. En el caso de las concesiones forestales con fines maderables, en el año 2003, la *Resolución Jefatural N° 109-2003-INRENA*, aprobó los lineamientos y formatos para elaborar los planes generales de manejo forestal y los planes operativos anuales, y consolidó el uso del factor mórfico, antes mencionado.

Actualmente, el factor mórfico de 0.65 está aprobado legalmente, mediante la *Resolución de Dirección Ejecutiva N° 046-2016-SERFOR-DE*; la misma que, al ser empleada por funcionarios con nula o escasa experiencia en manejo forestal, genera conflictos entre las autoridades forestales y los usuarios del bosque; debido a que los volúmenes de madera reportados en los planes operativos (antes planes operativos anuales) no coinciden con los volúmenes de madera que se extraen y que se registran en las guías de transporte.

Además, la falta de factores de forma, dificulta la planificación de la transformación, comercialización y mercadeo de los productos forestales; pues en la práctica, se carece de un conocimiento preciso del volumen de madera que se puede aprovechar.

Frente a esta problemática, es necesario, en primer lugar, crear métodos correctos para determinar los factores de forma y, en segundo lugar; determinar factores de forma por especie, o por grupo de especies con formas similares de fuste.

No obstante, para el caso de las especies maderables de la Amazonia peruana, no existe información científica que permita dilucidar cuál es la mejor de las fórmulas para calcular el volumen de madera de las trozas, para que, a partir de estas, se pueda calcular el factor de forma más adecuado.

Con base en todo lo explicado, esta investigación pretende cumplir los siguientes objetivos:

- Determinar el factor de forma de *Allantoma decandra Ducke* (*cachimbo colorado*) con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton.
- Determinar el factor de forma de *Brosimun utile* (*kunth) oken* (*panguana*) con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton.

Esta investigación se justifica porque tendrá varias utilidades. Primero, porque servirá para precisar con que fórmula de cubicación de madera se debe determinar el factor de forma de las especies *Allantoma decandra* (*cachimbo colorado*) y *Brosimun utile* (*panguana*), para el caso específico del bosque donde se realizó la investigación. Segundo, porque brindará lineamientos técnicos para determinar el factor de forma de otras especies, o de las mismas especies, pero en otros bosques. Tercero, porque se fundamentará el cuestionamiento al factor mórfico de 0.65, para cuantificar la madera de árboles aprovechables, específicamente, de las especies *Allantoma decandra* (*cachimbo colorado*) y *Brosimun utile* (*panguana*). Cuarto, porque contribuirá a mejorar la precisión de la estimación del volumen de madera aprovechable, en inventarios forestales y censos comerciales, específicamente, de las especies *Allantoma decandra* (*cachimbo colorado*) y *Brosimun utile* (*panguana*).

Los beneficiarios serán todos los actores del aprovechamiento maderable de los bosques de la Amazonia peruana. Entre estos actores se pueden incluir, primero, a los decisores de políticas, hacedores de normas y administradores del bosque; como el SERFOR, el OSINFOR y las autoridades regionales forestales. Otros beneficiarios serán los diferentes productores de madera, como los concesionarios, comunidades nativas y propietarios de predios privados, así como los inversionistas. Finalmente, se deben incluir a los regentes forestales y otros actores que se dedican a la elaboración, ejecución y supervisión de planes de manejo basados en inventarios forestales y censos comerciales.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Forma del fuste

La medición del volumen del fuste de un árbol está asociada a la forma del fuste correspondiente. Muchas especies, especialmente las coníferas, tienen un fuste central definido, a este tipo de fuste se le llama excurrente, en cambio, las latifoliadas tienen un fuste definido desde el nivel del suelo hasta la base de la copa, este tipo de fuste es llamado deliquescente (Prodan *et al*. 1997). Todos los árboles tienen una *forma fustal* típica, que varía de especie a especie, pero también depende del sitio y de la densidad del rodal (Prodan *et al*. 1997).

Cubicar un árbol es determinar el volumen de su fuste (López y Ambrosio 2006), pero la forma de un árbol es importante para el cálculo del volumen (Rondeaux 2010), pues conocer la forma del fuste de un árbol facilita el cálculo del volumen (Diéguez *et al*. 2003).

Se cuenta con varias metodologías para caracterizar la forma del fuste de los árboles, de estas, tres son las más importantes (Diéguez *et al*. 2003):

- La correspondencia del fuste a figuras geométricas sencillas cuya forma es conocida, denominadas *tipos dendrométricos*.
- Los cocientes de forma y coeficientes mórficos, que cotejan el volumen del fuste con el de un cilindro y analizan el decrecimiento del diámetro del árbol a medida que se asciende en altura.
- Las funciones de perfil, que son ecuaciones matemáticas que relacionan el diámetro con la altura.

2.1.1. Tipos dendrométricos

El fuste de los árboles, en su totalidad o en alguna parte del mismo, puede asimilarse a un sólido de revolución (Diéguez *et al*. 2003) y adquieren la denominación de *tipos dendrométricos* (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006); por lo tanto, el volumen del fuste se aproxima al volumen de *tipos dendrométricos* o *sólidos de revolución* (Rondeaux 2010).

Los sólidos de revolución se generan mediante la rotación de curvas planas o líneas de perfil, cuya función general es $y^2 = p.x^n$ (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010); en el que el eje *X* corresponde a la altura del fuste y el eje *Y* al radio del fuste a una altura *x* (Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010).

Donde:

y = radio

p = factor de proporcionalidad o coeficiente de amplitud

x = distancia del ápice a la base

n = parámetro de forma, llamado *exponente de forma*

Según su *exponente de forma* (Cuadro 1), los sólidos de revolución son el *cilindro* (para n = 0), el *paraboloide* (para n = 1), el *cono* (para n = 2) y el paraboloide de Neile, neiloide o neloide (para n = 3); con ecuaciones diferentes por *tipo dendrométrico* (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006 y Rondeaux 2010).

Cuadro 1. Ecuaciones por tipos dendrométricos

Tipo dendrométrico	n	Ecuación
Cilindro	0	$y^2 = p$
Paraboloide	1	$y^2 = p \, . \, x$
Cono	2	$y^2 = p \, . \, x^2$
Neiloide	3	$y^2 = p \, . \, x^3$

Los *tipos dendrométricos* determinan que árboles con dimensiones similares tengan diferentes volúmenes (López y Ambrosio 2006), sin embargo, las diferentes secciones de los árboles se podrían asimilar a diferentes *tipos dendrométricos* (Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006) o sólidos geométricos (Rondeaux 2010). Prodan *et al*. (1997) y Brack (1999) citado por Diéguez *et al*. (2003) aseveran que, en un fuste, la base se asemeja a un tronco de neiloide, en su base, la parte media a un tronco de paraboloide y, finalmente, la parte superior a un cono; aunque los puntos de cambio entre estas figuras varían con la edad y de unas especies a otras (Brack 1999 citado por Diéguez *et al*. 2003).

Larson (1963) citado por Diéguez *et al*. (2003) señala que, si la altura de la copa es reducida con relación a la altura total, entonces los fustes se asemejarán al cilindro o al paraboloide, pero, por el contrario, si la copa está muy desarrollada (como ocurre en rodales con baja densidad), entonces los fustes se asemejarán al cono o neiloide.

Es posible clasificar a las especies según el *tipo dendrométrico* al cual se puedan asimilar, así, por ejemplo, en España; la *encina*, el *alcornoque* y el *algarrobo* se acomodan al *cilindro*; las coníferas de las masas regulares al *paraboloide*, las frondosas y algunas coníferas al *cono* y los árboles aislados, *eucaliptos* y *sequoias* al *neiloide* (López y Ambrosio 2006).

Empero, los *tipos dendrométricos* tienen dos inconvenientes (Diéguez *et al*. 2003):

- El perfil real de un árbol no se puede fijar un solo *tipo dendrométrico*.
- No es posible identificar los puntos donde los fustes cambian de tipo dendrométrico.

2.1.2. Cocientes de forma y coeficientes mórficos

a. Cocientes de forma o coeficientes de decrecimiento

Es la razón o cociente entre dos diámetros, a diferentes alturas del fuste (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010). La referencia es el diámetro que esté a menor altura (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006). El diámetro de referencia puede medirse a una altura fija o bien a una altura relativa (Diéguez *et al*. 2003).

Los más utilizados son el *cociente de forma normal* y el *cociente de forma base* (López y Ambrosio 2006).

El *cociente de forma normal* (q_n) es la razón entre el diámetro a mitad de la altura total del árbol y el diámetro normal (López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010) o también la razón entre las circunferencias correspondientes (Rondeaux 2010). Para Rondeaux (2010) el cociente de forma o coeficiente de decrecimiento, antes mencionado; corresponde al cociente de forma de Schiffel.

$$q_n = \frac{d_{h/2}}{d_n}$$

$$q_n = \frac{C_{h/2}}{C_n}$$

El *cociente de forma base* (q_B) es la razón entre el diámetro a mitad de la altura total del árbol y el diámetro en la base, siendo el más utilizado (López y Ambrosio 2006).

$$q_B = \frac{d_{h/2}}{d_B}$$

El *cociente de forma base* representa bien la forma de los fustes (Cuadro 2) con respecto a los *tipos dendrométricos* (López y Ambrosio 2006).

Rondeaux (2010) también describe el cociente de forma de Hohenadl, un cociente de forma basado en el diámetro medido a una altura igual al 90 % de la altura total.

$$q_H = \frac{d_n}{d_{0.9\,h}}$$

Cuadro 2. Cociente de forma base por tipo dendrométrico

Cociente de forma base	Tipo dendrométrico
$q_B \geq 0.85$	Cilindro
$0.85 > q_B \geq 0.70$	Paraboloide
$0.70 > q_B \geq 0.50$	Cono
$0.50 > q_B \geq 0.35$	Neiloide

b. Coeficientes mórficos (coeficientes o factores de forma)

El volumen del fuste se puede calcular mediante un *coeficiente mórfico* (Diéguez *et al*. 2003). Los coeficientes mórficos tienden a ser constantes para árboles de una misma especie y clase diamétrica, de manera que es posible calcular una media que se pueda aplicar a los árboles de aquella especie y clase diamétrica (Diéguez *et al*. 2003).

El coeficiente mórfico, o factor de forma, es la razón entre el volumen real del fuste, hasta una altura determinada, y el volumen del cilindro; cuya base es la sección a una altura determinada y su longitud sea igual a la altura antes medida (Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010); y se denota por la letra f.

$$f = \frac{Volumen\ real\ del\ fuste}{Volumen\ del\ cilindro}$$

La forma de un fuste se puede expresar mediante un coeficiente, el más simple es el factor de forma (Cailliez 1980):

$$Factor\ de\ forma = f = \frac{Volumen\ \ del\ fuste}{área\ basal\ de\ referencia\ \times altura\ del\ fuste}$$

Un coeficiente de forma puede ser la razón entre el volumen del árbol y el volumen de un cilindro cuyo diámetro es el diámetro normal del fuste y su longitud la altura del fuste (López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010) y se denomina *coeficiente mórfico a la altura normal* siendo el más utilizado (Rondeaux 2010).

$$f = \frac{V_{árbol}}{\frac{\pi}{4} \times dap^2 \times h}$$

Los coeficientes mórficos se clasifican de la siguiente manera (Diéguez *et al*. 2003):

Según la sección:

Coeficientes mórficos referidos a una sección fija

Referidos a la sección normal.

Referidos a la sección basal.

Coeficientes mórficos referidos a una sección relativa

Según el volumen del tronco que se pretende estimar:

Coeficientes mórficos del volumen total (con y sin corteza)

Coeficientes mórficos del volumen de fuste (con y sin corteza)

Pero el *coeficiente mórfico a la altura normal* no expresa adecuadamente la forma de un fuste (Cailliez 1980) pues, al igual que todos los *coeficientes mórficos* referidos a secciones fijas, tiene el siguiente inconveniente: árboles con igual forma, pueden tener coeficientes mórficos distintos; y viceversa, árboles con formas disímiles pueden tener el mismo coeficiente mórfico (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003).

El problema, mencionado en el párrafo anterior, no ocurre con los *coeficientes mórficos* referidos a una sección relativa (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003), es el caso del *coeficiente mórfico de Hohenadl*, el más importante, que emplea como diámetro del cilindro el diámetro del árbol a un 10 % de su altura total (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003) conocido como *coeficiente natural de la forma del fuste* (Cailliez 1980).

2.1.3. Funciones de perfil del tronco

Son ecuaciones matemáticas que relacionan el diámetro o el radio del fuste con la altura a la que se alcanza dicho diámetro o radio (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003).

2.2. Volumen del fuste

Para la medición del volumen o cubicación se parte de algunas hipótesis sobre la forma de los fustes, al considerar que son sólidos de revolución, que sus ejes son sensiblemente rectilíneos y que sus secciones son sensiblemente circulares (López y Ambrosio 2006).

Los volúmenes de los fustes se pueden medir estando los árboles en pie o estando apeados (Diéguez *et al*. 2003).

Los árboles se pueden cubicar en pie, empleándose el *relascopio de Bitterlich* o el *pentaprisma de Wheeler*, con un hipsómetro *Suunto* adosado en su extremo (López y Marchal 1991); para medir los diámetros y la altura. Actualmente existen equipos más precisos y sencillos de emplear.

2.2.1. Cubicación del fuste por tipos dendrométricos

Para asignar un *tipo dendrométrico* se debe comparar la sección en la base con la sección en el centro del tronco (Diéguez *et al*. 2003). Es posible calcular volumen de un *tipo*

dendrométrico, pero es necesario conocer el diámetro de la base y la altura total (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006).

$$V_{real} = \frac{S_{base} \times H}{n+1}$$

$$V_{cilindro} = S_{base} \times H$$

$$V_{paraboloide} = \frac{S_{base} \times H}{2}$$

$$V_{cono} = \frac{S_{base} \times H}{3}$$

$$V_{neiloide} = \frac{S_{base} \times H}{4}$$

Los volúmenes también se pueden obtener de la siguiente manera (Rondeaux 2010):

$$V = \frac{\pi}{4} \times d_{base}^2 \times H$$

$$V = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\pi}{4} \times d_{base}^2 \times H\right)$$

$$V = \frac{1}{3} \times \left(\frac{\pi}{4} \times d_{base}^2 \times H\right)$$

$$V = \frac{1}{4} \times \left(\frac{\pi}{4} \times d_{base}^2 \times H\right)$$

2.2.2. Cubicación con el empleo de coeficientes de forma

Si se cuenta con un coeficiente mórfico, el volumen se determina de la siguiente (Rondeaux 2010):

$$V = \frac{\pi \times d_n^2}{4} \times H \times f = \frac{c^2}{4 \times \pi} \times H \times f$$

2.2.3. Cubicación del fuste en árboles apeados

Para medir el volumen de fustes apeados se emplean fórmulas de cubicación. A su vez, se pueden aplicar dos procedimientos, el primero considerando al fuste como una sola pieza y aplicando la fórmula una vez o como la suma de los volúmenes de trozas sucesivas, requiriéndose que la fórmula se aplique tantas veces como fue dividido el fuste (Diéguez *et al*. 2003). Se conocen varias fórmulas de cubicación, pero las más utilizadas son las de Huber, Smalian, Newton, Pressler y Simpson (Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003). Las tres primeras se pueden emplear para cubicar fustes completos o trozas, en tanto que las de Pressler y Simpson se emplean para cubicar fustes completos (Diéguez *et al*. 2003).

Las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton son las siguientes:

Fórmula de Huber

$$V = s_m \times l = \frac{\pi}{4} \times d_m^2 \times l$$

(Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010)

$$V = \frac{C_m^2}{4 \times \pi} \times l$$

(Cailliez 1980, Rondeaux 2010)

Fórmula de Smalian

$$V = \frac{s_1 + s_2}{2} \times l = \frac{\pi}{8} \times \left(d_1^2 + d_2^2\right) \times l$$

(Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010)

$$V = \frac{l}{8 \times \pi} \times (c_1^2 + c_2^2)$$

(Cailliez 1980, Rondeaux 2010)

Fórmula de Newton

$$V = \frac{1}{6} \times \left(s_1 + s_2 + 4 \times s_m\right) \times l = \frac{\pi}{24} \times \left(d_1^2 + d_2^2 + 4 \times d_m^2\right) \times l$$

(Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010)

$$V = \frac{l}{24 \times \pi} \times (c_1^2 + c_2^2 + 4 \times c_m^2)$$

(Cailliez 1980, Rondeaux 2010)

Donde:

s_1 = área de la sección en el extremo más grueso de la troza

s_2 = área de la sección en el extremo más delgado de la troza

s_m = área de la sección media de la troza de la troza

d_1 = diámetro sin corteza en el extremo más grueso de la troza

d_2 = diámetro sin corteza en el extremo más delgado de la troza

d_m = diámetro sin corteza de la sección media de la troza de la troza

c_1 = circunferencia sin corteza en el extremo más grueso de la troza

c_2 = circunferencia sin corteza en el extremo más delgado de la troza

c_m = circunferencia sin corteza de la sección media de la troza de la troza

l = largo de la troza

Cailliez (1980), Philip (1994), Prodan *et al*. (1997), Diéguez *et al*. (2003), López y Ambrosio (2006) y Rondeaux (2010) reportan resultados diferentes para la comparación entre el volumen real y el volumen por *tipo dendrométrico* (Cuadro 3).

Cuadro 3. Exactitud del volumen por fórmula de cubicación y tipo dendrométrico

Tipo	Huber	Smalian	Newton
Cilindro	Exacto	Exacto	Exacto
Paraboloide	Exacto	Exacto	Exacto
Cono	Por defecto	Por exceso	Exacto
Neiloide	Por defecto	Por exceso	Exacto

Se considera que la fórmula de Newton es más precisa (Cailliez 1980, Rondeaux 1993, López y Ambrosio 2006), pero si se emplean trozas de uno a dos metros las tres fórmulas son igual de precisas (López y Ambrosio 2006); incluso se ha determinado que las tres fórmulas son similares cuando la razón entre la circunferencia menor y la circunferencia mayor es mayor de 0.82, pues, en este caso, el error relativo es menor al 1 % (Cailliez 1980). Por lo tanto, cuanto menor sean las longitudes de las trozas, menor será el error en la estimación del volumen (Diéguez *et al*. 2003), siendo esta la razón por la cual, para Cailliez (1980), en árboles tumbados se debe medir los diámetros cada metro o cada dos metros.

Al respecto, Cailliez (1980) sostiene que la precisión de la estimación del volumen depende más de la calidad de la medición de los diámetros, que de la fórmula empleada. No obstante, Rondeaux (2010) afirma que el uso de trozas de dos metros genera un error sistemático que es el doble cuando se usa trozas de un metro. Asimismo, entre las fórmulas de Huber y Smalian, para trozas de uno a seis metros, la fórmula de Huber es más precisa que la de Smalian (Rondeaux 2010).

2.3. Comparaciones de las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton

Comparaciones sobre la medición del volumen de madera, mediante las fórmulas de Huber, Smalian y Newton; para especies arbóreas de los bosques húmedos tropicales primarios, de la Amazonia peruana, no existen; ni siquiera se hallaron estudios de otros países amazónicos.

En cambio, si se pueden hallar comparaciones para el caso de especies tropicales, pero de plantaciones, pinos y eucaliptos.

Por otro lado, en tanto que algunos estudios no hallaron diferencias entre las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton, otros si reportan diferencias.

Martin (1984) compara el volumen de especies latifoliadas, con diámetros normales de 6 a 27 pulgadas; contra el volumen estimado por el xilómetro, encontrando que las fórmulas de Huber, Newton y Smalian fueron igual de precisas para estimar el volumen. Contrariamente, Biging (1988) reporta que las fórmulas de Newton y Huber son más adecuadas que la de Smalian.

Para el caso del híbrido de *Eucalyptus urograndis*, de cuatro años, en Mato Grosso (clima tropical con precipitación media de entre 1600 y 1900 mm) Souza *et al*. (2017) reportan que, con respecto a la fórmula de Newton, la fórmula de Huber tiende a subestimar el volumen medio de los árboles, en tanto que Smalian tiende a sobreestimar; pero no se reporta diferencias significativas entre ellos.

En plantaciones de Costa Rica, Chinchilla y Gómez (2005) muestran volúmenes diferentes, para trozas de entre 11.5 cm y 49 cm, en función a la fórmula de cubicación (Cuadro 4).

Cuadro 4. Volúmenes (m^3 por troza) por fórmula de cubicación para *Gmelina arborea*, *Acacia mangium* y *Terminalia ivorensis*

Especie	Smalian	Huber
Gmelina arborea	0.0773	0.0759
Acacia mangium	0.1158	0.1111
Terminalia ivorensis	0.2564	0.2474

Elaborado por el autor

Para estimar el volumen de trozas de *Pinus elliottii*, Figueiredo Filho *et al*. (2000) consideran que comparando con el volumen obtenido mediante el método del xilómetro, las fórmulas de Smalian, Huber y Newton pueden ser usadas con resultados similares; pero con trozas de dos metros de largo. Empero, para trozas de más de dos metros de longitud y gruesas, Smalian tuvo el peor desempeño, considerando más recomendable la de Huber.

Lima *et al*. (2016), para *Pinus taeda* de 9, 13 y 20 años; mencionan que las fórmulas de Huber y Smalian sobreestimaron el volumen con respecto al volumen real (xilometro); pero la fórmula de Huber presentó las mejores estimaciones; en tanto que la fórmula de Smalian tuvo el peor desempeño.

Diferencias entre las fórmulas de Huber y Smalian también se han hallado mediante una evaluación teórica; donde la fórmula de Huber genera la mitad del error que la fórmula de Smalian, pues los errores porcentuales absolutos son menores de 13.5 % y 27 %, respectivamente (Cruz y Uranga-Valencia 2013).

Cabe preguntarse porque existe cierta tendencia por el empleo de la fórmula de Smalian, pues, al respecto, Machado y Figueiredo Filho (2014) citados por Souza *et al*. (2017) afirman que la fórmula de Smalian ha sido, tradicionalmente, más usada por razones prácticas, que por su precisión.

2.4. Descripción de *Allantoma decandra* (Ducke) S.A. Mori, Ya Y. Huang & Prance

Cariniana decandra Ducke es el sinónimo de *Allantoma decandra* (Ducke) S.A. Mori, Ya Y. Huang & Prance.

Flores (2018) menciona que es una especie arbórea perteneciente a la familia lecythidaceae, cuyo sinónimo es *Cariniana decandra*, agrega que se trata de árboles que alcanzan más de 40 metros de altura, con fuste cilíndrico, corteza con ritidoma marrón a cenizo, corteza externa marrón oscura, corteza interna rojiza y fibrosa, hojas simples ovaladas o elípticas, de 6 a 12 cm de largo por 3 a 7 cm de ancho, frutos tipo cápsulas leñosas de 8 a 13 cm de largo, de 2.5 a 3.5 cm de ancho, semillas aladas.

INIA (1996) agrega que se conoce con los nombres comunes de *cachimbo*, *cachimbo blanco*, *cachimbo colorado*, *cachimbo caspi* o *papelillo caspi*; que se trata de árboles con 90 cm de diámetro, tronco cilíndrico, con aletones bajos y gruesos, la madera recién cortada es de color blanco cremoso, similar a las capas internas (duramen), no observándose entre ambas capas contraste en el color; cuando la madera esta seca al aire, la albura se torna de color blanco y el duramen marrón muy pálido, grano recto, madera semi dura y semi pesada, con un peso específico de 550 a 750 Kg/m^3; la madera se usa para construcción de viviendas, muebles, molduras, mangos de herramientas y artículos deportivos.

2.5. Descripción de *Brosimum utile* (*kunth) oken*

Flores (2018) menciona que es una especie arbórea perteneciente a la familia Moraceae, denominada comúnmente con los nombres comunes de *panguana* o *loro micuna*. El mismo autor afirma que la especie son árboles monoicos de hasta 50 metros de altura, fuste de 85

cm de diámetro, tronco cilíndrico, aletas presentes, látex blanco a blanco cremoso, pegajoso al tacto, corteza externa de color marrón, lisa, lenticelas abundantes y alargadas; corteza interna amarilla a rojiza. Hojas simples, alternas, dísticas de 8 a 14 cm de largo y 5.5 a 7 cm de ancho. INIA (1996) agrega que la albura es de color blanco y el duramen de color crema el cual, cuando se seca al aire, se torna amarillo pálido; la madera es de grano entrecruzado, blanda y liviana con un peso específico de 400 y 550 Kg/m^3; la misma que se usa para cajonería de frutas y en carpintería de interiores.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación y descripción del área de estudio

Simón (2019) detalla la ubicación y describe el lugar donde se realizó la investigación. El área de estudio se llevó a cabo en un bosque primario intervenido de la Comunidad Nativa Santa Rosa, zona de vida bosque húmedo tropical, sobre una fisiografía de colina baja, específicamente en la *Parcela de Corta N° 2*, del *Plan Operativo N° 03*, Permiso *25-UCA-DGFFS/PER-FMC-2016-002*; sobre una superficie de 705.58 hectáreas. Aunque el bosque está en el territorio de la comunidad, la extracción la realiza la empresa *Comercializadora de Productos Forestales Maderables Selva* S.A.C.

La Comunidad Nativa Santa Rosa, políticamente está ubicada en el distrito y la provincia de Padre Abad, Región Ucayali.

Geográficamente, la *Parcela de Corta N° 2* pertenece a la cuenca de la quebrada Mapuaca, afluente del río Aguaytía (Cuadro 5).

Cuadro 5. Coordenadas UTM de la *Parcela de Corta N° 2* de la Comunidad Nativa Santa Rosa

PUNTO	VERTICE	ESTE (E)	NORTE (N)
1	V1	444357	9040694
2	V2	442366	9040703
3	V3	442358	9040839
4	V4	440618	9040847
5	V5	440618	9038840
6	V6	444357	9038840

Se ingresa al bosque mediante un camino que une el Centro Poblado de Huipoca con el Centro Poblado Santa Rosa. El segundo acceso es por vía fluvial desde el Rio Aguaytia.

3.2. Identificación y descripción del material experimental

El material experimental fueron los árboles aprovechables de *Allantoma decandra* (cachimbo colorado) y *Brosimun utile* (panguana), con diámetro mínimo de corta mayor o igual a 41 cm.

3.3. Procedimientos

3.3.1. En el bosque

a. Ubicación de los árboles

Los árboles que se midieron fueron los árboles georreferenciados de la *Parcela de Corta N° 2* que se empezaron a talar. Estos árboles se ubicaron mediante un receptor GPS Garmin 64 ST, en compañía del motosierrista. Al ubicar un árbol, se procedió a limpiar el contorno de la base del árbol, se realizó la tala del árbol y se eliminaron las lianas del fuste.

b. Recolección, preparación y secado de las muestras botánicas

Se tomaron cuatro muestras botanicas de los árboles evaluados en el bosque. Con una tijera de jardin se cortaron ramas con hojas y se registraron con una etiqueta respectiva. Cada muestra se colocó en una hoja de papel periódico y cubrió con alcohol (Anexo 1).

Posteriormente las muestras botánicas se secaron y, en la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, se pusieron en cartulina, se les cubrió con papel seda transparente y se les colocó en un folder de cartulina. Bajo esta presentación, fueron enviadas al *Laboratorio de Dendrologia* de la Universidad Nacional Agraria la Molina, donde el Ph.D. Carlos Reynel Rodríguez realizó la identificación botánica de las muestras (Anexo 2).

c. Medición de los diámetros del fuste de los árboles

Después que el motosierrista seccionó la base de la copa, se midieron los diámetros del fuste; para lo cual con un flexómetro y una tiza se dividió el fuste en secciones de un metro; de esta manera se tuvieron las mediciones de los diámetros en los extremos de las secciones de dos metros del fuste (para el caso del uso de la fórmula de cubicación de Smalian y Newton) y el diámetro en el centro de las mismas secciones (para el caso del uso de la fórmula de cubicación de Huber). Se entiende que la última sección pudo ser de menos de dos metros (Figura 1).

A continuación, se midieron los diámetros del fuste, ya marcados, como se mencionó anteriormente, y el diámetro del extremo menor de la última sección. Cuando los diámetros del fuste eran de hasta 127 cm, se empleó una forcípula de aluminio Haglof (Figura 2) pero, para diámetros mayores, se empleó una forcípula de madera (ex profesamente hecha para este estudio), para diámetros mayores de 127 cm hasta 200 cm (Figura 3). Cuando fue posible, se midieron dos diámetros (perpendiculares entre ellos), de los cuales se calculó la media aritmética.

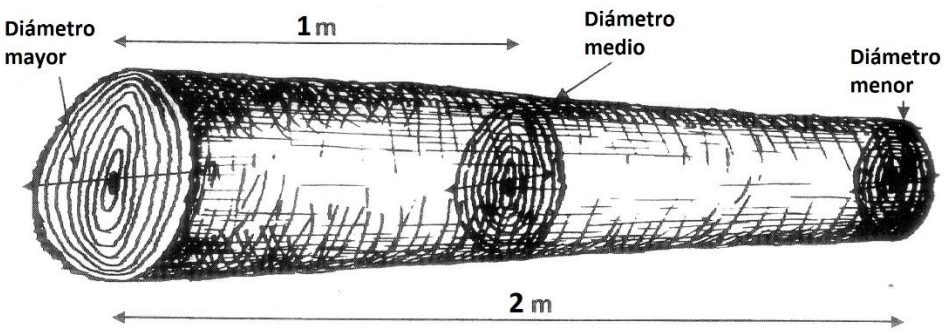


Figura 1. Medición y seccionamiento de los fustes



Figura 2. Forcípula de aluminio

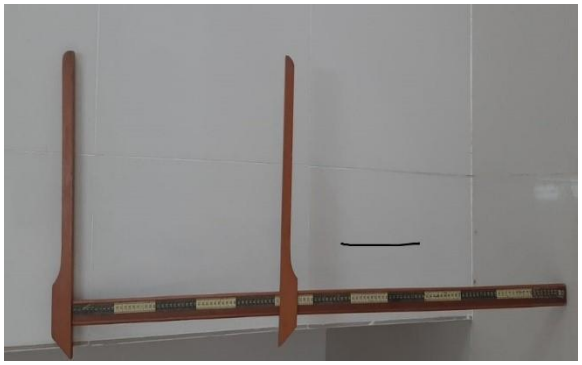


Figura 3. Forcípula de madera

3.3.2. En el gabinete

a. Elaboración de la base de datos

El vaciado de los datos se hizo en una hoja de cálculo EXCEL.

b. Depuración de la base de datos

Los datos se depuraron contrastando las anotaciones de los formatos de campo con la impresión de los datos digitados en la hoja de cálculo EXCEL.

c. Cálculo del volumen del cilindro

Para cada árbol se calculó el volumen de un cilindro, cuyo largo correspondió con el largo del fuste y cuyo diámetro correspondió con el diámetro inicial del fuste tumbado.

$$\text{Volumen del cilindro} = \frac{\pi \times d_1\text{^}2 \times \text{L}}{4}$$

Donde:

d_1 = diámetro al inicio del fuste, en metros

π = 3.1416

L = longitud del fuste, medido en metros

d. Cálculo del volumen del fuste

Para cada árbol, se calcularon tres volúmenes de fuste, correspondientes con la sumatoria del volumen de las secciones, cuyos volúmenes se calcularon con las fórmulas de cubicación de Smalian, Newton y Huber.

e. Cálculo del volumen de las secciones del fuste

Se emplearon las fórmulas de cubicación de Smalian, Newton y Huber.

Cálculo del volumen de la sección con la fórmula de Smalian (Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010)

$$\text{Volumen de la sección} = \frac{\text{S}_\text{i} + \text{S}_\text{f}}{2} \times L = \frac{\pi}{8} \times \left(\text{d}_\text{i}{}^2 + \text{d}_2{}^2\right) \times L$$

Donde:

S_i = área del extremo mayor de la sección, en metros cuadrados

S_f = área del extremo menor de la sección, en metros cuadrados

d_i = diámetro mayor de la sección, en metros

d_f = diámetro menor de la sección, en metros

π = 3.1416

L = longitud de la sección

Cálculo del volumen de la sección con la fórmula de Newton (Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010)

$$\text{Volumen de la sección} = \frac{1}{6} \times (S_i + S_f + 4 \times S_m) \times L = \frac{\pi}{24} \times \left(d_i^2 + d_2^2 + 4 \times d_m^2\right) \times L$$

Donde:

S_i = área del extremo mayor de la sección, en metros cuadrados

S_f = área del extremo menor de la sección, en metros cuadrados

S_m = área en la mitad de la sección, en metros cuadrados

d_i = diámetro del extremo mayor de la sección, en metros

d_f = diámetro del extremo menor de la sección, en metros

d_m = diámetro en la mitad de la sección, en metros

π = 3.1416

L = longitud de la sección

Cálculo del volumen de la sección con la fórmula de Huber (Cailliez 1980, Philip 1994, Prodan *et al*. 1997, Diéguez *et al*. 2003, López y Ambrosio 2006, Rondeaux 2010)

$$\text{Volumen de la sección} = S_m \times L = \frac{\pi}{4} \times d_m^2 \times L$$

Donde:

S_m = área en la mitad de la sección, en metros cuadrados

d_m = diámetro en la mitad de la sección, en metros

π = 3.1416

L = longitud de la sección

f. Cálculo de los factores de forma

El factor de forma fue el cociente de la división entre el volumen del fuste y el volumen del cilindro (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003, Rondeaux 2010), por lo tanto, para cada fuste, se calcularon tres factores de forma, dependiendo si el volumen del fuste fue la sumatoria de los volúmenes de las secciones calculadas mediante la fórmula de Smalian, Newton o Huber.

$$f = \frac{Sumatoria\ del\ volumen\ de\ las\ trozas}{Volumen\ Cilindro}$$

3.4. Variables

Las variables de respuesta fueron los factores de forma determinados en base a los volúmenes de las secciones calculados (a su vez) mediante las fórmulas de Smalian, Newton y Huber, por especie.

3.5. Población y muestra

En este estudio no se realizó un muestreo para generar inferencias de una población, por lo tanto, no se tuvo una población y una muestra. Sin embargo, dado que se realizaron análisis de varianza, para los cuales se necesitó una cantidad de repeticiones de unidades experimentales (o sea, árboles); entonces es oportuno mencionar que los árboles se obtuvieron, al azar, de los 90 árboles aprovechables de *Allantoma decandra* (cachimbo) y de los 296 árboles aprovechables de *Brosimun utile* (panguana), de la *Parcela de Corta N° 2*.

Para el cálculo del número de repeticiones se empleó el método de Cochran y Cox (1965), descrito por Steel y Torrie (1988).

El método, antes mencionado, se basa en la siguiente expresión matemática:

$$\mathrm{r} \geq 2 \times \left(Z\alpha_{/2} + Z_{\beta}\right)^2 \times \left(\frac{\sigma}{\delta}\right)^2$$

Donde:

r = número de repeticiones o bloques.

$Z_{\alpha/2}$ = variable normal estándar para una probabilidad de cometer error Tipo I de 0.05.

Z_{β} = variable normal estándar para una potencia de prueba de 0.95, o sea para una probabilidad de cometer error Tipo II de 0.05.

σ = desviación estándar.

δ = diferencia máxima en términos de factor de forma del fuste que se desea detectar (en este estudio 0.10).

Entonces el número de repeticiones para el ANOVA fue:

$$\mathrm{r} \geq 2 \times (1.96 + 1.65)^2 \times \left(\frac{0.07}{0.1}\right)^2 = 14$$

Con base en el cálculo anterior, se midieron 14 árboles de *Allantoma decandra* y 30 árboles de *Brosimun utile*.

3.6. Tratamientos

Los tratamientos fueron los tres factores de forma determinados para cada especie, los mismos que se determinaran con base en el uso de las fórmulas de Smalian, Newton y Huber.

3.7. Recolección de los datos

3.7.1. Fuentes de información

En este estudio la fuente información fue una fuente primaria, porque los datos se obtuvieron a través de la medición directa de los árboles seleccionados.

3.7.2. Unidad experimental y unidad de medición.

La unidad experimental fue el árbol, del cual se obtuvieron los factores de forma calculados mediante la fórmula de Smalian, Newton o Huber.

En este estudio, la unidad experimental coincidió con la unidad de medición.

3.7.3. Tipo de muestreo

Por la naturaleza de esta investigación, no se realizó un muestreo, como ya se explicó en el acápite 6.5.

3.7.4. Técnicas para recolección de datos

Los datos de campo se anotaron en registros físicos, es decir en formatos de campo, ex profesamente elaborados para este estudio (Anexo 3).

3.8. Procesamiento de los datos

Los análisis se realizaron en el programa estadístico *MINITAB*.

Se obtuvieron los estadísticos de tendencia central (media y mediana), de variabilidad (rango, desviación estándar, coeficiente de variabilidad) y de posición (primer y tercer cuartil).

Se elaboraron gráficas de caja y bigotes y de dispersión de datos.

Los tratamientos se compararon mediante un análisis de varianza, con diseño experimental de bloques completos al azar, donde los tratamientos fueron los factores de forma calculados mediante las fórmulas de Smalian, Newton y Huber; y los bloques fueron los árboles.

Previamente, el supuesto de normalidad de se probó mediante el estadístico de Kolmogorov-Smirnov y el supuesto de homogeneidad de varianzas mediante la prueba de Bastlett (si se cumplió con el supuesto de normalidad) o la prueba de Levene (si no se cumplió con el supuesto de normalidad).

Cuando se hallaron diferencias entre los tratamientos, se utilizaron las pruebas de comparación de medias de Fisher, Tukey y Bonferroni para determinar entre que tratamientos hubo diferencias.

IV. RESULTADOS

4.1. Factores de forma de *Allantoma decandra*

Los resultados estan referidos a los análisis comparativos que se efectuaron para los 14 árboles de *Allantoma decandra*.

4.1.1. Comparación descriptiva de los factores de forma de *Allantoma decandra*

No se hallaron diferencias en las medias entre los factores de forma, que se calcularon con base en las tres fórmulas de cubicación (Cuadro 6). Las similitudes entre los estadísticos de tendencia central resultan notorias cuando se presentan gráficamente (Figura 4), empero, debe resaltarse que las medianas si se mostraron más diferentes que las medias, debido a la presencia de un valor extremo, atípico o outlier (Figura 4).

En cuanto a la variabilidad, tampoco se hallaron diferencias entre las desviaciones estándar, pero debe agregarse que los coeficientes de variabilidad reportaron que, entre los árboles, la variación de los factores de forma (para las tres fórmulas) superó el 16 %; lo cual se explica porque los rangos fueron 0.39 (Cuadro 6).

Cuadro 6. Estadísticos descriptivos de los factores de forma de *Allantoma decandra*

Estadístico	Fórmula		
	Huber	**Smalian**	**Newton**
Media	0.619	0.619	0.619
Mediana	0.633	0.617	0.629
Rango	0.390	0.386	0.389
Desviación estándar	0.101	0.100	0.100
Coeficiente de variabilidad (%)	16.3	16.1	16.1
Error estándar	0.027	0.027	0.027
Valor mínimo	0.490	0.492	0.490
Valor máximo	0.880	0.878	0.879
Primer cuartil	0.546	0.537	0.544
Tercer cuartil	0.660	0.674	0.661
Rango intercuartílico	0.114	0.136	0.118

La variabilidad notoria, antes señalada, fue un resultado de la dispersión amplia de los valores individuales, de los factores de forma, dado que las diferencias, entre los valores máximos y mínimos fueron conspicuas (Figura 5).

La igualdad de los errores estándar, entre fórmulas de cubicación, evidenció que las mismas generaron una precisión similar; dado que el error estándar es un estadístico que se emplea para evaluar la precisión (Dieguez *et al*. 2003).

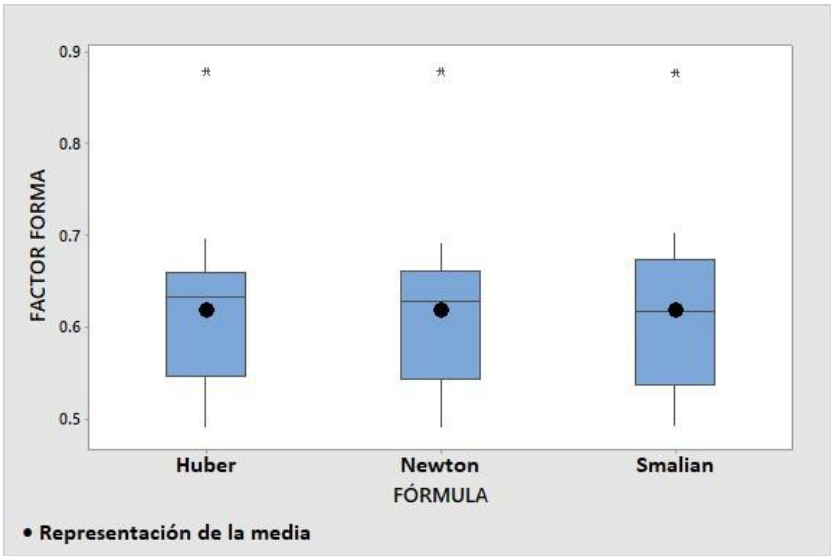


Figura 4. Factor de forma de *Allantoma decandra* por fórmula de cubicación

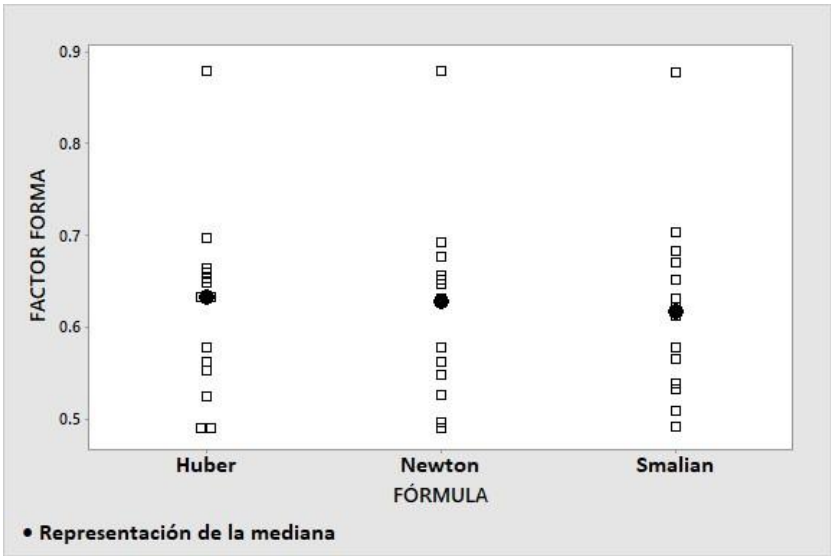


Figura 5. Valores individuales y mediana del factor de forma de *Allantoma decandra* por fórmula de cubicación

Si se enfatiza en la comparación entre las medianas, se puede mencionar que, con respecto al factor de forma que se calculó con la fórmula de Newton; entonces la fórmula de Huber produjo un factor de forma muy ligeramente sobreestimado; en tanto que la fórmula de Smalian generó un factor de forma muy ligeramente subestimado.

El análisis de correlación señaló que el factor de forma, que se calculó con la fórmula de Huber, está más fuertemente asociado con el factor de forma que se calculó con la fórmula de Newton, en comparación con el factor de forma que se calculó con la fórmula de Smalian (Cuadro 7). Por lo tanto, si se acepta que la fórmula de Newton es la más precisa de entre las tres; pues entonces entre las otras dos fórmulas se debería optar por el uso de la fórmula de Huber.

Cuadro 7. Coeficientes de correlación de Pearson entre factores de forma para *Allantoma decandra*

	Smalian	Newton
Huber	0.982	0.998
Smalian		0.992

4.1.2. Comparación inferencial de los factores de forma de *Allantoma decandra*

Se comprobaron los supuestos del análisis de varianza. La prueba de Kolmogorov-Smirnov (Figura 6) verificó que los datos se distribuyeron normalmente (p = 0.105), en tanto que la Prueba de Bartlett (Anexo 4) verificó el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas u homocedasticidad (p = 0.999).

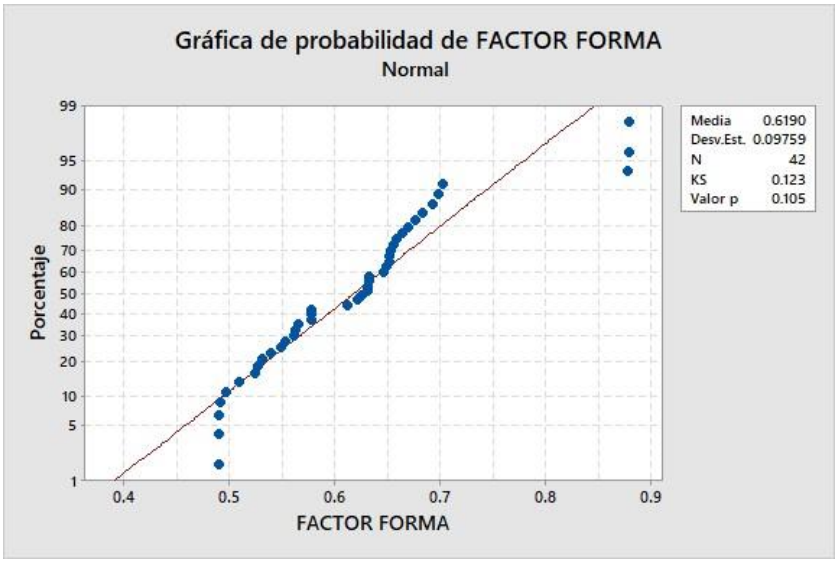


Figura 6. Gráfica de probabilidad normal y prueba de Kolmogorov-Smirnov para el factor de forma de *Allantoma decandra*

El análisis de varianza no halló diferencias (p = 1.000) en los factores de forma, entre las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton (Anexo 5); en cambio sí reportó

diferencias altamente significativas entre los árboles, de modo que se acertó al incluir a los árboles como una fuente de variabilidad; lo cual se corroboró puesto que el diseño experimental explicó un 99.39 % de la variabilidad.

4.2. Factores de forma para *Brosimum utile*

Para el caso de *Brosimum utile* los análisis comparativos se realizaron con los 30 árboles que se cortaron para la extracción.

4.2.1. Comparación descriptiva de los factores de forma de *Brosimum utile*

Con esta especie tampoco hubo diferencias en las medias de los factores de forma, entre fórmulas de cubicación (Cuadro 8). El gráfico de caja y bigotes correspondiente muestra que no se encontraron diferencias notables entre los estadísticos de tendencia central (Figura 7). No obstante, se observa que las medianas si mostraron pequeñas diferencias, pues hubo un valor extremo, el que presumiblemente se deba a la medición de árbol con una forma fustal muy cercana al cilindro (Figura 7).

Los estadísticos de variabilidad también fueron similares, así, las desviaciones estándar variaron en centésimas o milésimas, aunque la menor diferencia se encontró entre los factores de forma que se calcularon con las fórmulas de Huber y Newton. Para esta especie, los coeficientes de variabilidad oscilaron alrededor de 15 %; con rangos que fluctuaron entre 0.414 y 0.466 (Cuadro 8).

Cuadro 8. Estadísticos descriptivos de los factores de forma de *Brosimum utile*

Estadístico	Fórmula		
	Huber	**Smalian**	**Newton**
Media	0.714	0.713	0.714
Mediana	0.718	0.713	0.716
Rango	0.414	0.466	0.431
Desviación estándar	0.106	0.111	0.107
Coeficiente de variabilidad (%)	14.8	15.5	15.0
Error estándar	0.019	0.020	0.020
Valor mínimo	0.518	0.521	0.519
Valor máximo	0.932	0.987	0.950
Primer cuartil	0.618	0.625	0.624
Tercer cuartil	0.794	0.792	0.794
Rango intercuartílico	0.176	0.168	0.170

Los fustes de *Brosimum utile* presentaron varios valores menores y mayores que la mediana, lo cual corrobora, gráficamente, los resultados de los estadísticos de variabilidad, antes señalados, porque los valores máximos y mínimos fueron muy disímiles (Figura 8).

Al igual que en el caso de *Allantoma decandra*, con *Brosimum utile* los errores estándar, entre fórmulas de cubicación, fueron casi iguales; de modo que se colige que la precisión entre las fórmulas fue similar.

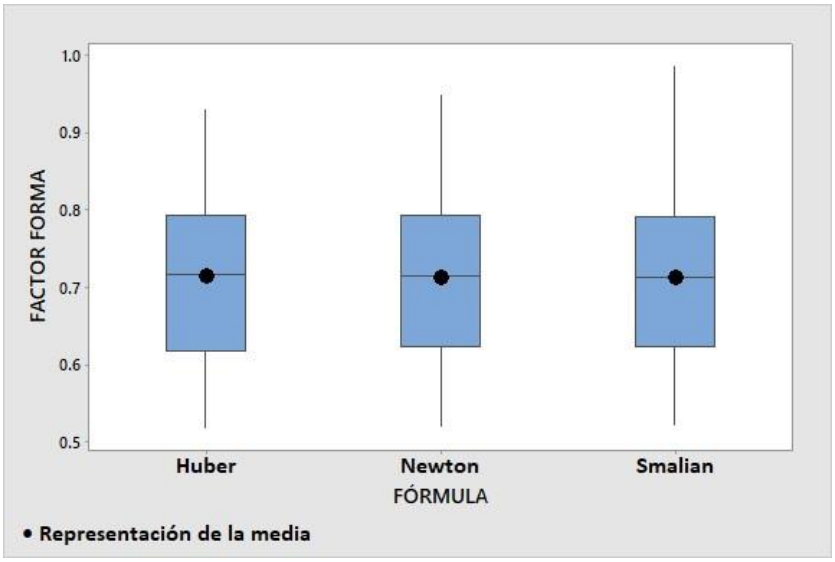


Figura 7. Factor de forma de *Brosimum utile* por fórmula de cubicación

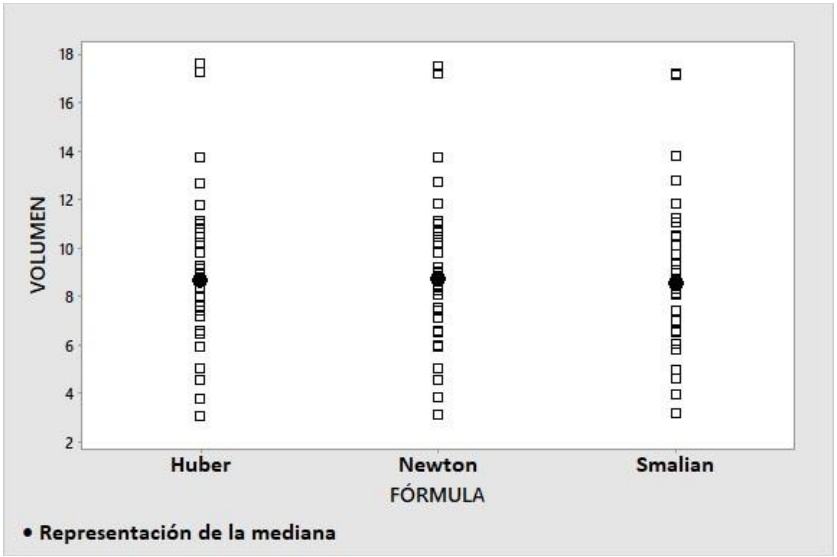


Figura 8. Valores individuales y mediana del factor de forma de *Brosimum utile* por fórmula de cubicación

Nuevamente, destacando el empleo de la mediana por encima de la media, se halló que, con respecto a la fórmula de Newton; la fórmula de Huber sobreestimó (muy ligeramente) el factor de forma y la fórmula de Smalian lo subestimó (también muy ligeramente).

Los coeficientes de correlación de Pearson (o sea el análisis de correlación) encontró que, para *Brosimum utile*, la fórmula de Huber estuvo más fuertemente asociado con la fórmula de Newton, en comparación con la fórmula de Smalian (Cuadro 9); donde la menor asociación se produjo entre la fórmula de Huber y de Smalian. Aunque las diferencias entre los coeficientes de correlación de Pearson variaron en centésimas, una decisión estricta debería inclinarse por el uso de la fórmula de Newton seguida por la fórmula de Huber.

Cuadro 9. Coeficientes de correlación de Pearson entre factores de forma para *Brosimum utile*

	Smalian	Newton
Huber	0.987	0.999
Smalian		0.994

4.2.2. Comparación inferencial de los factores de forma de *Brosimum utile*

Para realizar el análisis de varianza primero se procedió con la verificación de los supuestos de normalidad y de homogeneidad de varianzas (u homocedasticidad).

La prueba de Kolmogorov-Smirnov (Figura 9) y la gráfica de probabilidad normal comprobaron que los datos, de factor de forma, se distribuyeron normalmente (p = 0.111). Asimismo, la Prueba de Bartlett (Anexo 6) confirmó el cumplimiento del supuesto de homogeneidad de varianzas u homocedasticidad (p = 0.968).

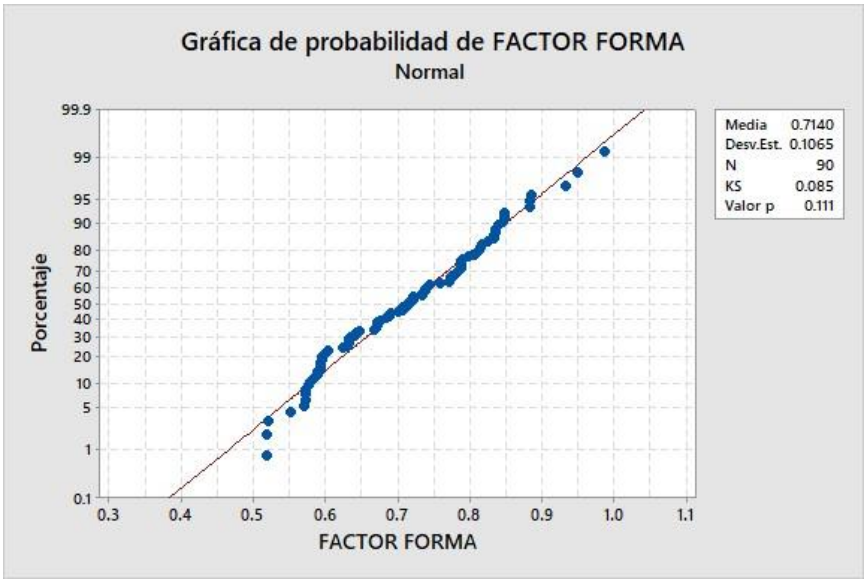


Figura 9. Gráfica de probabilidad normal y prueba de Kolmogorov-Smirnov para el factor de forma de *Brosimum utile*

Al igual que con *Allantoma decandra*, para *Brosimum utile* el análisis de varianza (Anexo 7) tampoco encontró diferencias (p = 0.899) en los factores de forma, entre las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton. Empero, el análisis de varianza si evidenció diferencias, altamente significativas, entre los árboles (o sea entre los bloques), de lo cual se colige que la principal fuente de variabilidad fueron las características fustales de cada individuo; nada contradictorio con el modelo matemático, o sea con el diseño experimental que se seleccionó, puesto que aquel declaró un 99.52 % de la variabilidad.

V. DISCUSIÓN

En esta investigación se halló que los factores de forma, que se calcularon con base en las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton; para *Allantoma decandra* y *Brosimum utile* fueron similares, lo cual no significa que ambas especies tengan la misma forma fustal o que se adecuen al mismo tipo dendrométrico, dado que cada especie tiene una *forma fustal* típica (Prodan *et al*. 1997); además como señalan Cailliez (1980) y Diéguez *et al*. (2003) árboles con igual forma, pueden tener factores de forma (referidos a secciones fijas) distintos; en tanto que árboles con formas disímiles, pueden tener el mismo factor de forma (referido a secciones fijas).

Aunque los factores de forma tienden a ser constantes para árboles de una misma especie y clase diamétrica (Diéguez *et al*. 2003), la variabilidad que se halló en los factores de forma, entre los árboles de la misma especie (Figuras 5 y 8), podría deberse a diferencias entre las condiciones del micrositio (suelo, relieve, densidad del rodal, microclima, micorrizas, etc.), pues, como señala (Prodan *et al*. 1997) la forma fustal también depende del sitio y de la densidad del rodal; de lo que se colige que hará que varíe el factor de forma.

Pero el *coeficiente mórfico a la altura normal* no expresa adecuadamente la forma de un fuste (Cailliez 1980) pues, al igual que todos los *coeficientes mórficos* referidos a secciones fijas, tiene el siguiente inconveniente: árboles con igual forma, pueden tener coeficientes mórficos distintos; y viceversa, árboles con formas disímiles pueden tener el mismo coeficiente mórfico (Cailliez 1980, Diéguez *et al*. 2003).

El resultado que se halló, que las fórmulas de cubicación de Huber, Smalian y Newton; para *Allantoma decandra* y *Brosimum utile*, generaron factores de forma similares podría indicar que ambas especies, en el sitio de estudio, se puedan asimilar a los tipos dendrométricos del cilindro y el paraboloide pues Cailliez (1980), Philip (1994), Prodan *et al*. (1997), Diéguez *et al*. (2003), López y Ambrosio (2006) y Rondeaux (2010) señalan que las tres fórmulas cubican con exactitud los dos tipos dendrométricos ya señalados.

Aunque la literatura especializada considere que la fórmula de Newton es más precisa (Cailliez 1980, Rondeaux 1993, López y Ambrosio 2006) en esta investigación se corroboró que la precisión es la misma, dado que se hallaron errores estándar similares entre las fórmulas y por especie (Cuadros 6 y 8); siempre y cuando se empleen trozas de uno a dos metros, o sea trozas cortas, tal como lo afirman Cailliez (1980), Diéguez *et al*. (2003) y López y Ambrosio (2006). Esta investigación respalda a Cailliez (1980) en el sentido de que, para este tipo de estudios, se deba emplear secciones de uno a dos metros para el cálculo de los factores de forma. Por lo tanto, no se coincide con Rondeaux (1993), quien afirma que, para trozas de uno a seis metros, la fórmula de Huber sea más precisa que la de Smalian.

Finalmente, cabe mencionar que, como no se hallaron diferencias entre las tres fórmulas de cubicación en esta investigación, entonces los resultados coinciden con los estudios de Martin (1984), para latifoliadas de climas templados; de Souza *et al*. (2017), para el híbrido *Eucalyptus urograndis*, de Chinchilla y Gómez (2005), para plantaciones de *Gmelina arborea*, *Acacia mangium* y *Terminalia ivorensis* y de Figueiredo Filho *et al*. (2000), para trozas de dos metros de largo de *Pinus elliottii*.

Las diferencias halladas por Biging (1988), Lima *et al*. (2016) y Cruz y Uranga-Valencia (2013); entre las fórmulas de Newton y Huber con respecto a la de Smalian, de la cual se considera que no tiene un buen desempeño; podría significar que este estudio no se considere definitivo para el caso de la gran variedad de especies presentes en los bosques primarios de la Amazonia peruana.

VI. CONCLUSIONES

- Los factores de forma de *Allantoma decandra* con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton; en términos de la media, fueron iguales (0.619) y ligeramente diferentes en términos de la mediana (0.633 para Huber, 0.629 para Newton y 0.617 para Smalian).
- Los factores de forma de *Brosimun utile* con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton; en términos de la media, fueron casi iguales (0.714 para Huber y Newton y 0.713 para Smalian) y muy ligeramente diferentes en términos de la mediana (0.718 para Huber, 0.716 para Newton y 0.713 para Smalian).
- Bajo el empleo de secciones de dos metros, los factores de forma de *Allantoma decandra* y *Brosimun utile* con las fórmulas de Smalian, Huber y Newton; son similares por lo tanto los cálculos de los factores de forma no deben restringirse al uso exclusivo de la fórmula de Smalian.

VII. BIBLIOGRAFIA

Biging, G S. 1988. Estimating the accuracy of volume equations using taper equations of stem profile. Canadian Journal of Forest Research 18: 1002- 1007. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://cdnsciencepub.com/doi/abs/10.1139/x88-153

Cailliez, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento: estimación del volumen. Roma, Italia, FAO. 92p. (Estudio FAO: Montes no.22/1).

Chinchilla, O; Gómez, M. 2005. Diferencias volumétricas en cuatro sistemas de medición de trozas de madera. Revista de Ciencias Ambientales 29(1):76-82. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://www.revistas.una.ac.cr/index.php/ambientales/article/view/12038

Cochran, WG; Cox, GM. 1965. Diseños experimentales. Trillas.

Cruz de León, G; Uranga-Valencia, LP. 2013. Theoretical evaluation of Huber and Smalian methods applied to tree stem classical geometries. Bosque 34(3): 311-317. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://www.redalyc.org/pdf/1731/173129280007.pdf

Diéguez A, U; Barrio A, M; Castedo D, F; Ruíz G, AD; Álvarez T, MF; Álvarez G, JG; Rojo A, A. 2003. Dendrometría. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 327p.

Figueiredo Filho, A; Machado, SA; Carneiro, MRA. 2000. Testing accuracy of log volume calculation procedures against water displacement techniques (xylometer). Canadian Journal Forestry Research 30: 990–997. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://cdnsciencepub.com/doi/abs/10.1139/x00-006

Flores B, Y. 2018. Árboles nativos de la Región Ucayali. Pucallpa, Perú, INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, Perú). 381 p.

INIA (Instituto Nacional de Investigación Agraria, Perú). 1996. Manual de identificación de especies forestales de la sub región andina. Lima, Perú. 489 p.

Lima, GCP; Kohler, SV; Silvestre, R; Navroski, MC; Bonazza, M; Allegretti, G; Scarioti, R. 2016. Acuracidade de métodos de cubagem para estimativa do volume de *Pinus taeda* L. BIOFIX Scientific Journal 1(1):74-82. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://revistas.ufpr.br/biofix/article/view/49101

López P, C; Ambrosio T, Y. 2009. Dendrometría gráfica. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 98 p.

López P, C; Marchal N, B. 1991. Dasometría práctica. Madrid, España, Universidad Politécnica de Madrid. 149 p.

Martin, A. J. 1984. Testing volume equation accuracy with water displacement techniques. Forest Science. 30: 41-50. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://academic.oup.com/forestscience/article-abstract/30/1/41/4656803

Philip, M S. 1994. Measuring trees and forests. Wallingford, UK, CAB International. 310 p.

Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura forestal. San José, CR, IICA, BMZ/GTZ. 561 p.

Rondeaux, J. 2010. Medición de árboles y masas forestales. Trad. Diaz de Barrionuevo, A. Madrid, España, Ediciones Mundi-Prensa. 521 p.

Simón S, DA. 2019. PLAN OPERATIVO PO N°3 – PCA 02 con fines de comercialización a alta escala Comunidad Nativa Santa Rosa. Ucayali, Perú. 52 p.

Steel, RG; Torrie, JH. 1988. Bioestadística: principios y procedimientos. 2 ed. D.F., México, McGraw-Hill. 622 p.

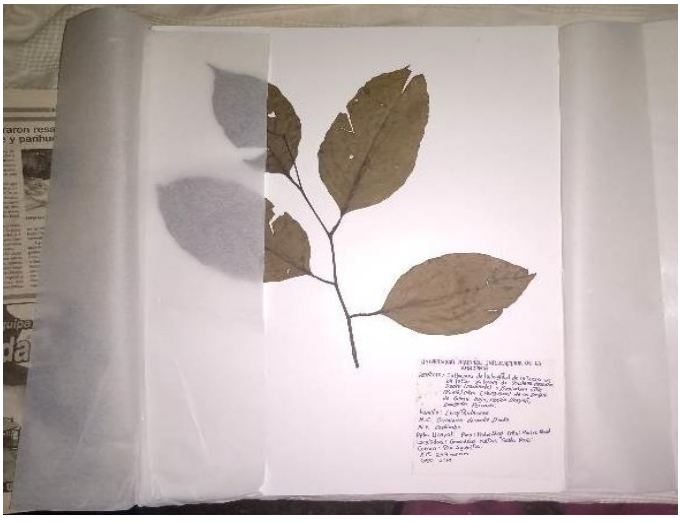
Souza, HS; Drescher, R; Vendruscolo, DGS; Moura, JPVM; Siqueira, TA da S; Mamoré, FMD. 2017. Comparação de métodos de cubagem para eucalipto. Revista Brasilera de Biometría 35(1):17-26. Consultado 26 jul. 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/profile/Diogo-Vendruscolo/publication/316687453_COMPARACAO_DE_METODOS_DE_CUBAGEM_PARA_EUCALIPTO/links/590c7589aca27217aec90d7e/COMPARACAO-DE-METODOS-DE-CUBAGEM-PARA-EUCALIPTO.pdf

IX. ANEXOS

Anexo 1. Preservado y secado de las muestras botánicas



Anexo 2. Embalaje de las muestras botánicas



Anexo 3. Formato de campo

Especie: N° árbol :		
Diámetro inicial		
Diámetro a	1 m	
	2 m	
	3 m	
	4 m	
	5 m	
	6 m	
	7 m	
	8 m	
	9 m	
	10 m	
	11 m	
	12 m	
Diámetro final Longitud final		

Anexo 4. Prueba de Bartlett para los factores de forma de *Allantoma decandra*

Método

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente
Nivel de significancia	$\alpha = 0.05$

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	0.00	0.999

Anexo 5. Análisis de varianza con diseño experimental de bloques completos al azar de los factores de forma entre fórmulas de cubicación para *Allantoma decandra*

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
FÓRMULA	2	0.000000	0.000000	0.00	1.000
ÁRBOL	13	0.388108	0.029854	325.33	0.000
Error	26	0.002386	0.000092		
Total	41	0.390494			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0095795	99.39%	99.04%	98.41%

Anexo 6. Prueba de Bartlett para los factores de forma de *Brosimum utile*

Método

Hipótesis nula	Todas las varianzas son iguales
Hipótesis alterna	Por lo menos una varianza es diferente
Nivel de significancia	α = 0.05

Se utiliza el método de Bartlett. Este método es exacto sólo para datos normales.

Pruebas

Método	Estadística de prueba	Valor p
Bartlett	0.06	0.968

Anexo 7. Análisis de varianza con diseño experimental de bloques completos al azar de los factores de forma entre fórmulas de cubicación para *Brosimum utile*

Análisis de Varianza

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
FÓRMULA	2	0.00002	0.000009	0.11	0.899
ÁRBOL	29	1.00435	0.034633	418.39	0.000
Error	58	0.00480	0.000083		
Total	89	1.00916			

Resumen del modelo

S	R-cuad.	R-cuad. (ajustado)	R-cuad. (pred)
0.0090982	99.52%	99.27%	98.85%