



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS DE GRADO**

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:**

**TEMA:**

**TABLAS DE VOLUMEN Y PORCENTAJE DE  
APROVECHAMIENTO EN EL ASERRADO DE *Ochroma*  
*pyramidale* (BALSA) EN EL RECINTO EL VERGEL, CANTÓN  
VALENCIA, PROVINCIA DE LOS RÍOS, AÑO 2012.**

**AUTOR:**

**JUAN CARLOS MURILLO LINCE**

**DIRECTOR:**

**Ing. For. CÉSIL MORENO CEDEÑO**

**QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR**

**2012**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TEMA:**

**TABLAS DE VOLUMEN Y PORCENTAJE DE  
APROVECHAMIENTO EN EL ASERRADO DE *Ochroma  
pyramidale* (BALSA) EN EL RECINTO EL VERGEL, CANTÓN  
VALENCIA, PROVINCIA DE LOS RÍOS, AÑO 2012.**

**TESIS DE GRADO**

**PRESENTADA AL HONORABLE CONSEJO DIRECTIVO DE LA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES PREVIO A LA OBTENCIÓN  
DEL TÍTULO DE:**

**INGENIERO FORESTAL**

**APROBADO:**

\_\_\_\_\_  
Ing. For. Césil Moreno Cedeño  
**DIRECTOR DE TESIS**

\_\_\_\_\_  
Ing. For. Elías Cuasquer Fúel  
**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_  
Ing. For. Pedro Suatunce  
**INTEGRANTE DEL TRIBUNAL**

\_\_\_\_\_  
Ing. For. Gary Ramírez Huila  
**INTEGRANTE DEL TRIBUNAL**

**Quevedo – Los Ríos – Ecuador**

**2012**

## CERTIFICACIÓN

El suscrito catedrático de la Escuela de Ingeniería Forestal de la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, **CERTIFICA:** que el egresado Juan Carlos Murillo Lince, bajo mi dirección realizó el **TRABAJO DE INVESTIGACIÓN** titulado “**Tablas de volumen y porcentaje de aprovechamiento en el aserrado de *Ochroma pyramidale* (Balsa) en el recinto el Vergel, cantón Valencia, provincia de Los Ríos**”, habiendo cumplido con todas las disposiciones legales pertinentes.

---

**Ing. For. Césil Moreno Cedeño**  
DIRECTOR DE TESIS

## **AGRADECIMIENTOS**

El Autor deja constancia de su agradecimiento a la institución y a las siguientes personas:

- UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO
- FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
- CARRERA DE INGENIERÍA FORESTAL
- Ing. For. GARY RAMÍREZ HUILA, DECANO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES
- Ing. For. ANTONIO VELIZ MENDOZA, DOCENTE DE ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL
- Ing. For. ELÍAS CUASQUER FUEL, PRESIDENTE DEL TRIBUNAL
- Ing. For. GARY RAMÍREZ HUILA, MIEMBRO DE TRIBUNAL
- Ing. For. PEDRO SUATUNCE CUNUHAY, MIEMBRO DE TRIBUNAL
- A TODAS LAS PERSONAS QUE DE UNA U OTRA MANERA COLABORARON EN LA CULMINACIÓN DE ESTA INVESTIGACIÓN.

## **AUTORÍA**

Las ideas expuestas en el presente trabajo de investigación,  
así como los resultados, discusión y conclusiones  
son de exclusiva responsabilidad del autor.

---

**JUAN CARLOS MURILLO LINCE**

## **DEDICATORIA**

Esta tesis se la dedico a mi Dios por guiarme, darme fuerzas para afrontar los retos que la vida me ha interpuesto.

A mi amada esposa Andrea Patiño, por su afán, apoyo e inspiración, sin todo esto sería difícil afrontar el camino emocional, personal y profesional.

A mis Hijos: Taís Alejandra y Juan Andrés, porque para ellos es nuestro esfuerzo.

A mis Padres: Sra. Celeste Elvia Lince y Sr. Viterbo Murillo... sin su amor, fe y apoyo incondicional, hoy no estaría aquí.

A mí tío Carlos Enrique González, él inspiró en mí el gusto por el campo forestal.

## ÍNDICE

<b>I. INTRODUCCIÓN</b>	<b>1</b>
A. JUSTIFICACIÓN	2
B. OBJETIVOS	3
1. <i>General</i>	3
2. <i>Específicos</i>	3
C. HIPÓTESIS	3
<b>II. REVISIÓN DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
A. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE	4
1. <i>Taxonomía</i>	4
2. <i>Descripción botánica</i>	4
3. <i>Requerimientos ecológicos</i>	5
4. <i>Importancia económica</i>	6
B. TABLAS DE VOLUMEN	6
1. <i>Definición e importancia de las tablas de volumen</i>	6
2. <i>Tipos de volumen que se estiman</i>	8
3. <i>Clasificación de las tablas de volumen</i>	10
4. <i>Construcción de las tablas de volumen</i>	13
C. APROVECHAMIENTO EN EL ASERRADO	23
1. <i>El aprovechamiento volumétrico</i>	23
2. <i>Determinación del volumen de desperdicio de madera en el proceso de aserrado</i>	24
3. <i>Diferentes factores que inciden sobre el rendimiento volumétrico de madera aserrada.</i>	24
<b>III. MATERIALES Y METODOLOGÍA</b>	<b>26</b>
A. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO	26
1. <i>Características agroclimáticas</i>	26
2. <i>Zona de vida</i>	26
3. <i>Formación natural</i>	26
B. MATERIALES	27
1. <i>Materiales de campo</i>	27
2. <i>Materiales de oficina</i>	27
C. METODOLOGÍA	28
1. <i>Toma de los datos para la muestra</i>	28
2. <i>Relación entre el D130 y la altura</i>	28
3. <i>Cubicación de los árboles muestreados</i>	28
4. <i>Determinación del factor volumétrico de forma</i>	29
5. <i>Elaboración de tablas de volumen</i>	30

6. Determinación del porcentaje de aprovechamiento en el proceso de aserrado	40
<b>IV. RESULTADOS</b>	<b>43</b>
A. CORRELACIÓN ENTRE EL <b>D130</b> Y LA ALTURA COMERCIAL	43
B. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA ( <i>f</i> )	45
C. TABLAS DE VOLUMEN CONSTRUIDAS POR MÉTODOS MATEMÁTICOS	47
1. <i>Tablas de una entrada</i>	47
2. <i>Tablas de volumen de doble entrada</i>	53
D. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE (%) DE APROVECHAMIENTO EN EL ASERRADO	65
<b>V. DISCUSIÓN</b>	<b>68</b>
<b>VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b>	<b>70</b>
A. CONCLUSIONES	70
B. RECOMENDACIONES	71
<b>VII. RESUMEN</b>	<b>72</b>
<b>VIII. SUMMARY</b>	<b>73</b>
<b>IX. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>74</b>
<b>X. ANEXOS</b>	<b>80</b>



(DUBLIN CORE) ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN			
1	Título / Title	M	Tablas de volumen y porcentaje de aprovechamiento en el aserrado de <b><i>Ochroma pyramidale</i></b> (balsa) en el recinto El Vergel, Cantón Valencia, Provincia de Los Ríos.
2	Creador / Creator	M	Murillo J; Universidad Técnica Estatal de Quevedo
3	Materia / Subject	M	Ciencias Ambientales; Tablas de Volumen y Aprovechamiento en el Aserrado; Sector Plantaciones Forestales
4	Descripción / Description	M	La presente investigación se la realizo en el recinto El Vergel, Cantón Valencia, Provincia de Los Ríos – Ecuador; a 0° 43' 8" de latitud sur y 79° 20' 57" de longitud oeste. El objetivo principal fue determinar Las tablas de volumen y el porcentaje de aprovechamiento en el aserrado de <i>Ochroma pyramidale</i> , para el caso de tablas de volumen se analizó las tablas de una y dos entradas aritmética y logarítmica respectivamente. Las tablas de doble entrada son las más precisas, siendo la aritmética $v = a + b * D^2 \left( \frac{1}{100} \right)$ la de mayor ajuste. En el caso de rendimiento en el aserrado, a mayor diámetro existe mayor aprovechamiento, generando mayor cantidad de listones con mayor espesor, que va correlacionado al largo de los listones.
5	Editor / Publisher	M	FACAMB; Carrera de Ingeniería Forestal; Murillo J.
6	Colaborador / Contributor	O	Ninguno
7	Fecha / Date	M	01/10/2012
8	Tipo / Type	M	Tesis de Grado; Artículo
9	Formato / Format	M	.docx MS Word 2010; .pdf
10	Identificador / Identifier	R	<a href="http://biblioteca.uteq.edu.ec">http://biblioteca.uteq.edu.ec</a>

<b>(DUBLIN CORE) ESQUEMAS DE CODIFICACIÓN</b>			
11	Fuente / Source	M	Investigación Forestal. Tablas de Volumen y aprovechamiento; (2012)
12	Lenguaje / Languaje	O	Español
13	Relación / Relation	O	Ninguno
14	Cobertura / Coverage	O	Localización geoespacial electromagnética
15	Derechos / Rights	M	Ninguno
16	Audiencia / Audience	O	Tesis de Pregrado / Bachelor Thesis

## I. INTRODUCCIÓN

*Ochroma pyramidale*, conocida comúnmente como balsa, es una especie forestal y maderera que posee gran demanda internacional, se extiende de manera natural desde el sur de México, Centro y Sur América (Wengert, 2005), en nuestro país se distribuye en las Provincias de Esmeraldas, Santo Domingo de los Tsachilas, Los Ríos, Cotopaxi, Guayas, Manabí, Francisco de Orellana, Nueva Loja, Napo, Pastaza y Región Insular (Isla Isabela). Gracias a las características edafoclimáticas de Los Ríos, hace de este territorio, un espacio idóneo para la producción de esta especie (González *et al*, 2010).

Se conoce que la balsa ha sido cultivada con éxito en localidades exóticas de la India, Sri Lanka, Malasia, Vietnam, Borneo, Fiji, las Islas Salomón, las Filipinas y Papua Nueva Guinea (Francis, 1991). Desde hace 50 años el Ecuador es el primer país productor y exportador de balsa en el mundo, de acuerdo a Müller (2000), el Ecuador cubre el 98% de la demanda internacional en la exportación de esta madera.

Hasta mediado de la década de los años 90, en el litoral ecuatoriano, la especie más difundida en plantaciones era la balsa, con una extensión de 6000 hectáreas (Zúñiga, 1995); en el año 2.000 la mayoría de la balsa provenía del aprovechamiento de rodales de regeneración natural, donde la balsa crece en estado natural. Por el crecimiento poblacional las zonas destinadas a la agricultura o los bosques cada vez están más lejos. De allí que, por razones de volumen, costo y calidad, cerca del 40% de la balsa se obtiene de cultivos propios de las compañías comercializadoras nacionales.

Según González *et al*. (2010), Ecuador posee, más de 20 mil hectáreas de plantaciones, además de bosques naturales y reforestados, siendo las zonas de mayor producción las provincias del Guayas, El Oro, Los Ríos y Pichincha. Con el auge económico y entrada a nuevos mercados, se calcula que el año 2.015 existirá alrededor de 35.000 hectáreas de balsa plantadas en la región costa. La balsa que se produce en el Ecuador se destina casi en su totalidad a las exportaciones, principalmente a Estados Unidos, Comunidad Económica Europea y a un creciente consumidor como China.

En Ecuador los estudios de mensura realizados a especies de baja densidad no han sido profundos y de manera satisfactoria, lo cual demuestra la importancia de establecer modelos matemáticos o crear fórmulas adecuadas, tales como las tablas de volumen, para su utilización técnica y comercial en la compra y venta de productos provenientes de plantaciones.

Básicamente, la elaboración de estas tablas de volúmenes se ha enfocado en mediciones directas del arbolado en pie. Sin embargo, esta técnica tiene dificultades, de ahí la necesidad de desarrollar tablas de volúmenes basadas en metodologías tendientes a predecir, por medio de mediciones simples y directas, los volúmenes que en conjunto sustentan los árboles de una determinada masa forestal o rodal (Caballero, 1972).

De acuerdo con Fucaraccio & Staffieri (1999), desde su aparición las tablas de volumen han constituido una herramienta importante a la hora de cuantificar la producción y rendimiento de una superficie en cuanto a volumen de madera, para una o más especies y, por lo tanto, son útiles para valorar económicamente un área boscosa.

## **A. JUSTIFICACIÓN**

La balsa como especie económicamente importante requiere de investigaciones más profundas debido a que gran parte de los pequeños productores están estableciendo y manejando rodales de ésta especie y en su mayoría en el litoral ecuatoriano.

Cabe resaltar la importancia de crear tablas de cálculo volumétrico para la balsa debido a que las tablas existentes no son adaptables a la especie, sitios y posición geográfica, siendo esto un factor limitante para la planificación forestal. Igualmente, el aprovechamiento en el proceso de aserrado es necesario para estimar los rendimientos para cada clase diamétrica; por lo que se consideró importante obtener datos específicos para la balsa en el Ecuador.

El presente estudio contribuirá con la información y metodología más adecuada para elaborar tablas volumétricas y proveerá de información sobre el porcentaje de conversión de madera rolliza en aserrada.

## **B. OBJETIVOS**

### **1. General**

Construir tablas de volumen y determinar el porcentaje de aprovechamiento en el aserrado de la especie *Ochroma pyramidale*.

### **2. Específicos**

- Elaborar tablas de volumen para la *Ochroma pyramidale*, con el fin de contribuir a su óptimo aprovechamiento de la zona.
- Calcular los rendimientos en el aserrado de acuerdo a las clases diamétricas de *Ochroma pyramidale*.

## **C. Hipótesis**

- H<sub>1</sub>:** Es posible estimar el volumen aprovechable de árboles de balsa en pie mediante tablas de volumen con un error aceptable.
- H<sub>2</sub>:** Existe una o varias clases diamétricas donde el aprovechamiento de madera aserrada es mayor.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### A. DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

#### 1. Taxonomía

Reino:	<i>Plantae</i>
Filo:	<i>Magnoliophyta</i>
Clase:	<i>Magnoliopsida</i>
Orden:	<i>Malvales</i>
Familia:	<i>Bombacaceae</i>
Género:	<i>Ochroma</i>
Especie:	<i>pyramidale</i>
Nombre vulgar:	Balsa, Boya

#### 2. Descripción botánica

Vocalía (2007), menciona que la balsa es un árbol cuya altura puede oscilar entre 20 a 40 metros, dependiendo de la zona en la que se encuentra, su diámetro puede alcanzar hasta 120 centímetros en árboles viejos. Las raíces son tabulares, pequeñas, de crecimiento rápido. Tiene pocas ramas gruesas, están dispuestas en forma de paraguas (extendidas) cubriendo un amplio espacio. Sus hojas son grandes y acorazonadas, alternas, de un tamaño que va de 20 a 40 cm, con 7 a 9 nervios principales que nacen desde su base, con pecíolos largos. El haz de las hojas generalmente es de color verde y el envés una coloración verde amarillenta, con vellosidades en forma de estrella.

Las flores tienen de 7 a 10 cm. de ancho, ligeramente carnosas, el cáliz es grueso de color café verdusco y una conformación de campana, con lóbulos grandes, posee 5 pétalos blancuzcos, los mismos que son redondeados en el ápice y angostos en la base. Las cápsulas (frutos) tienen diez ángulos, divididos en su interior en cinco partes, dejando expuesta una masa pardusca de tres milímetros de largo (Coronel, 2008).

### **3. Requerimientos ecológicos**

Según Marshall (1939), la balsa requiere de un clima cálido y húmedo, determinándose que la zona de vida o formación ecológica adecuada para cultivos comerciales de la balsa es el bosque húmedo tropical (bhT), aunque también se cultivan en zonas de mayor o menor humedad.

#### **a. Clima**

Para Letourneux (1957), las temperaturas óptimas para el desarrollo fisiológico y productivo de la balsa se encuentran en las zonas con rangos de 20 a 25 grados centígrados promedio del mes más frío y la temperatura promedio del mes más cálido varía entre 24 y 30 grados centígrados; a mayores o menores temperaturas su producción se reduce, por lo que es crítico determinar las zonas para cultivos comerciales. Los niveles de precipitación requeridos oscilan entre los 2.000 y 4.000 mm por año distribuidos uniformemente durante el año. En sentido de altitud el mejor desarrollo se encuentra desde el nivel del mar hasta los 1.200 msnm.

#### **b. Características edáficas**

Fors (1965) menciona que la balsa demanda una rica provisión de nutrientes y un suelo bien drenado. Streets (1962) indica que los árboles de balsa mueren con facilidad debido a las inundaciones.

Para Betancourt (1968), la especie tiene su mejor crecimiento en suelos aluviales a lo largo de ríos y es aquí en donde se le encuentra con mayor frecuencia. La balsa coloniza suelos arcillosos, margosos y limosos, e incluso el relleno de construcción recientemente depositado, pero no tolera los suelos de alta salinidad, el pH del suelo que prefiere la planta es ligeramente ácido, con rangos que van de 5,5 a 6,5. Los rodales de balsa se pueden encontrar tanto en áreas llanas como en pendientes escarpadas.

Betancourt (1968) recomienda para este cultivo suelos con buen drenaje, buena disponibilidad de humedad, textura franca, franco arenosos o franco limosos, aunque esta planta cuando está en estado silvestre crece en cualquier tipo de suelo.

#### **4. Importancia económica**

La balsa tiene importancia económica y social por ser utilizada en plantaciones mixtas para la restauración de áreas degradadas. Su madera es de baja densidad, pero de alta resistencia a la tensión, suave y fácil para trabajar (Lorenzi, 1992).

Francis (1991), menciona que se usa para juguetes, artesanías, chapa de interiores y material aislante, además tiene una amplia gama de productos de consumo final (aeromodelismo, maquetas, enseres, artes de pesca y objetos ornamentales) así como insumos industriales, que abarca desde la construcción de aviones ultraligeros hasta la fabricación de aspas para aerogeneradores.

Desde los años cuarenta, el Ecuador es el primer país productor y exportador de balsa en el mundo.

A nivel de país, durante el año 2009 el Ministerio del Ambiente del Ecuador (MAE) autorizó la corta de 470.140  $m^3$  de madera rolliza de balsa y en el 2010 con un volumen aproximado de 782.371,71  $m^3$ , siendo la mayor especie aprovechada en el Ecuador (Romero, Velasteguí y Robles, 2011).

Se estima que en 2005 el mercado ecuatoriano de madera de balsa alcanzó un valor de 19 491 620 US\$, con un crecimiento anual del mercado del 5% (OIMT, 1999).

#### **B. TABLAS DE VOLUMEN**

##### **1. Definición e importancia de las tablas de volumen**

Una tabla de volumen es una agrupación de datos, resultante de unas labores de campo y oficina (toma de datos y procesamiento de las mismas) para cubicación rápida y fácil de árboles y rodales en base a ciertos parámetros que deben tomarse en el terreno, los cuales se correlacionan con los de la tabla. (Lema, 1979)

FAO (1980), define a las tablas de volumen como fórmula o gráfica, la cual proporciona el volumen de un árbol o un grupo de ellos por medio de algunas variables denominadas “entradas de la tabla”. Avery (1967), menciona que el propósito



de estas tablas es proporcionar una tabulación que exprese el “contenido medio” de árboles en pie de diversos tamaños y especies.

Las tablas o ecuaciones de volúmenes, son una herramienta de uso actual para desarrollar programas de manejo forestal sustentable y otras acciones en torno a la administración de los recursos forestales, con fines maderables. Generalmente son ecuaciones generadas para especies y lugares. En la actualidad existe un número considerable de ecuaciones de volumen, aunque no suficiente, que han sido publicadas con escasa distribución, lo que impide el empleo de las más adecuadas, (Jiménez 1990, citado por Escobar 2007).

Los procedimientos más usuales para medir las dimensiones de los árboles son indirectos, es decir, se miden dimensiones que son fáciles de medir para en base a ello hacer cálculos matemáticos y obtener por ejemplo incrementos y volúmenes (Romahn et al. 1987). El mismo autor señala que en el caso del volumen fustal, las dimensiones que más se usan son el diámetro y la altura, porque son las más fáciles de medir y accesibles. Con éstas dimensiones se aplican las fórmulas que se emplean en el cálculo del volumen de los cuerpos geométricos que más se asemejan a los troncos de los árboles, que básicamente son el cilindro, el cono truncado y el cono. Las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas del volumen del arbolado en pie, llevaron desde hace tiempo al desarrollo de metodologías tendientes a calcular por medio de mediciones simples y directas los volúmenes que en conjunto sustentan los árboles de una determinada masa o rodal.

Romahn et al. (1994), mencionan que las tablas de volúmenes son de gran importancia, ya que constituyen el fundamento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de la silvicultura y de los métodos de ordenación de bosques.

Caballero (1972), menciona que pocas actividades dentro de la Dasonomía se equiparán en importancia a las que se utilizan para la elaboración de tablas de volúmenes. Estas constituyen el fundamento de los inventarios forestales, los que a su vez son el cimiento de los métodos de ordenación de montes. Este mismo autor indica que las dificultades prácticas de hacer evaluaciones directas de volúmenes arbolados en pie llevaron desde hace tiempo al desarrollo de metodologías tendiente a predecir, por medio de mediciones simple y directas (básicamente diámetro normal, la altura comercial o total y algunas evaluaciones relacionadas con las formas de los

individuos), los volúmenes que en conjunto sustentan los árboles de una determinada masa o rodal.

Autores como Quiñónez (2002), menciona que el no actualizar las tablas de volumen para un determinado lugar o región, hay una sobreestimación de las existencias reales de madera por hectárea y, por lo tanto, un cálculo erróneo de la posibilidad de producción anual. Señala además, que con el uso de las tablas se logra una mayor precisión en dichos cálculos lo que favorece la recuperación del volumen cortado y el rendimiento sostenido a largo plazo.

## 2. Tipos de volumen que se estiman

Para Lojan (1981), determinar un volumen geométrico implica el conocimiento de tres dimensiones. El árbol puede considerarse como un sólido compuesto de varias formas geométricas tales como:

- El neiloide,
- El paraboloides,
- El cono y
- El cilindro

En la determinación del volumen de árboles, se requiere conocer principalmente:

$vt$	=	volumen total (madera + corteza + ramas)
$vf$	=	volumen del fuste o tronco (madera + corteza – ramas)
$vmf$	=	volumen de madera del fuste (volumen total – volumen corteza)
$vr$	=	volumen de ramas (volumen total – volumen del fuste)
$vC$	=	volumen comercial (volumen de madera, de corteza o de ramas que se venden)
$vc$	=	volumen de corteza (volumen de fuste – volumen de madera)

Si bien las ramas también tienen madera y corteza, su volumen se considera aparte, por el uso que se les da (muchas veces son un desperdicio).

En la práctica forestal se presentan generalmente dos necesidades:

- a) Conocer el volumen exacto de un árbol
- b) Conocer el volumen aproximado de un árbol

En el caso a) se recurre a la medición directa de todas las partes de árbol para su cubicación; a esto se llama “medición del volumen”. Para el caso b) se recurre a la medición de una o más variables y sobre la base de ella se estima el volumen; a esto se llama “estimación de volumen”.

El término volumen total ( $vt$ ) se refiere al volumen total del fuste, desde el tocón hasta el ápice terminal, con la inclusión de la madera de las ramas. Debe indicarse cualquier modificación que se haga al término. (CATIE, 1993)

Generalmente se entiende por volumen comercial ( $vC$ ) la cantidad de madera, que utiliza de una troza o de un árbol, excluyendo la corteza y otros desperdicios. La cantidad de madera utilizable de una troza depende del uso que se le dé y de las técnicas en el proceso de extracción. Existen métodos de cubicación para estimar el volumen comercial que varía de un país al otro.

Para la obtención del volumen madera aserrada se realiza utilizando la siguiente ecuación:

$$v = \frac{(a \ g \ l)}{12}$$

Dónde:

- $v$  = volumen de la pieza en Pies Tablares
- $a$  = ancho de la pieza en pulgadas
- $a$  = grosor de la pieza aserrada en pulgadas
- $l$  = longitud de la pieza aserrada en pies

Pie tablar (board foot) es un volumen comercial, similar al volumen de tabla, tablón, listón, etc. No tienen un volumen exacto pero sí dimensiones. El volumen exacto varía según esté aserrado o sin aserrar, cepillado, etc., siguen con el mismo nombre pero el precio varía.

### 3. Clasificación de las tablas de volumen

Ferreira (1990), indica que las tablas de volumen pueden clasificarse en:

- Tablas de volumen local
- Tablas de volumen general
- Tablas de volumen con clase de forma

#### a. Tablas o funciones de volumen local o tarifas

Es aquella que utiliza solamente el  $D_{130}$ , como variable independiente, asume que todas las variables excepto el  $D_{130}$  son uniformes dentro de un área limitada para la cual la tabla es efectiva, y válida. (Ferreira, 1990).

Las funciones de volumen local o tarifas relacionan el volumen del árbol con solo una variable dependiente, generalmente el diámetro normal o de referencia “ $d$ ” o transformaciones y potencias de esta misma variable. El calificativo local se debe a que estas funciones son de aplicación limitada al área, para lo cual es aplicable la relación diámetro / altura implícita en el modelo de volumen; generalmente una cierta clase de edad y un mismo sitio. (Prodan et al. 1997).

Los modelos de volumen local más simples y algunos de uso corriente se describen a continuación:

DISSESCU – STANESCU (1986)

$$v = b_0 + b_1 d^2$$

HOHENADL – KRENN (1944)

$$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$$

KOPEZKI – GERHARDT (1899)

$$v = b_0 + b_1 g$$

En las cuales:

$v$	=	volumen
$d$	=	diámetro a 1.3 m de altura
$g$	=	área basal
$b_0, b_1, b_2$	=	constantes

Es lógico pensar que los modelos de volumen pasan a través del origen  $b_0$ , dado que si las variables independientes son ceros, el volumen también es nulo. Sin embargo, si no existen datos observados (como generalmente ocurre) para modelar la porción inferior de la curva, siempre será estadísticamente sano conservar el intercepto.

Las tablas de volumen local pueden obtenerse a partir de ecuaciones de volumen con más de una variable dependiente. Esto ocurre cuando una de las variables de la ecuación se obtiene de una muestra de árboles con los que se ajusta un modelo con el fin de obtener su predicción para el total de árboles medidos.

#### **b. Tablas o funciones de volumen general (Estándar)**

Se denominan tablas o funciones generales de volumen los modelos que estiman el volumen con dos o más dimensiones del árbol, por lo general el diámetro y la altura total o comercial " $h$ " y en algunos casos una expresión de la forma. Este último tipo de ecuaciones de volumen se denominan funciones de volumen de clase de forma; corrientemente se utilizan en Estados Unidos e incluyen como predictor, además del diámetro y altura, el cociente de forma de Giraldo. (Husch et al. 1982 – citado por Prodan et al. 1997)

Ferreira (1990), Menciona que la tabla de volumen general es aquella que utiliza el  $D_{130}$  y la Altura como variables independientes. La altura utilizada puede ser la altura total como es el caso para las especies de coníferas o la altura comercial que se usa en las especies latifoliadas.

Muchos de los modelos de volumen general incluyen como predictores sólo el diámetro de referencia y alguna expresión de la altura; las razones que apoyan este tipo de formulación son citados por Clutter et al. (1983):

- Mediciones de diámetros en altura son difíciles de realizar
- Variaciones en la forma de los árboles: estas tienen un impacto menor en el volumen que la variación en altura o diámetro.
- Para algunas especies, la forma es relativamente constante e independiente del tamaño.

- En algunas especies, la forma de los arboles está a menudo correlacionada con el tamaño de los árboles; de modo que diámetro y altura generalmente explican gran parte de la variación del volumen causada por la forma.

La función de volumen general más conocida es la denominada de variables combinadas (Spurr, 1952 citado por Prodan et al. 1997).

$$v = b_0 + b_1 d^2 h$$

Este modelo, ajustado sin intercepto, se denomina de factor de forma constante, dado que la expresión  $d^2 h$ , al ser multiplicado por la constante  $\frac{\pi}{40.000}$  representa el volumen,  $b_1$  representaría el factor de forma falso que reduce el cilindro para transformarlo en volumen del árbol.

Muestra de otros modelos de volumen comúnmente utilizados:

Factores de forma constante	$v = b_1 d^2 h$
Variables combinadas generalizadas	$v = b_0 + b_1 d^2 + b_2 h + b_3 d^2 h$
Logarítmica sin intercepto	$v = b_1 + d^{b_2} h^{b_3}$
Logarítmica con intercepto	$v = b_0 + b_1 b d^{b_2} h^{b_3}$
Variables transformadas de HONER	$v = \frac{d^2}{(b_0 + b_1 h^{-1})}$
Clase de forma	$v = b_0 + b_1 + d^2 h k$
Australiana de STOAT	$v = \frac{b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^3 + b_3 + b_4}{h}$
WENK	$v = g \left( \frac{h^2}{(b_0 \sqrt{d} + b_1 \sqrt{d})} \right)$

En la cuales:

$v$	=	volumen
$h$	=	altura total
$k$	=	coeficiente de forma
$d$	=	diámetro a 1.3 m de altura
$g$	=	área basal
$b_0, \dots b_4$	=	constantes

### **c. Tablas de volumen con clase de forma**

Es aquella tabla de volumen (estándar), a la cual se le incorporó la forma de árbol como variable, Ferreira (1990), otros autores como Mora y Cevallos (1988), argumentan que suele llamarse tablas de triple entrada. Este tipo de tablas requiere que se lea primero la clase de forma, luego el diámetro y finalmente la altura para encontrar el volumen buscado.

## **4. Construcción de las tablas de volumen**

Para la construcción de las tablas se requiere de la cubicación de los árboles muestra. Las medidas que se toman para la cubicación de los árboles muestra en la elaboración de una tabla de volumen son de dos clases, las que sirven para la determinación de la clase o grupo de diámetro y altura a la que pertenece el árbol muestra y las que sirven para la determinación de las dimensiones de las trozas en que se dividen o se suponen divididos los árboles muestra. Una vez que se tiene el volumen de los árboles, se ajusta un modelo matemático, para obtener la ecuación que nos de la tabla de volumen, por medio de técnicas de regresión o usando procedimientos gráficos.

Cuando no se dispone de tablas volumétricas cabe la posibilidad de elaborarlas. Se conocen numerosos métodos de elaboración, se recomienda el empleo de técnicas de regresión con una ecuación ordenada, ya que es una técnica directa sumamente sencilla que elimina relativamente la subjetividad de muchos otros métodos y permite expresar el error de relación. La preparación de tablas volumétricas es costosa, porque requiere reunir datos básicos como son las medias de las dimensiones de una serie de árboles muestreados, el cálculo de su volumen y el establecimiento de una ecuación o relación gráfica entre las dimensiones árboles y el volumen (Mora y Cevallos, 1988)

Loetsch et al., (1973) menciona que para la derivación de ecuaciones de volumen existen tres fases que son:

- Selección de un número suficientemente grande de árboles representativos como muestra.
- Medición de las variables dependientes e independientes para la derivación de la ecuación de volumen.

- Canalizar diferentes funciones matemáticas y seleccionar aquella que proporcione el volumen.

Para el empleo de tablas de volumen es importante tener las especificaciones a utilizar en su elaboración. Esto implica un análisis cuidadoso de características, tales como las unidades de volumen, el  $D_{130}$  (Diámetro a 130 cm del suelo), la altura del tronco, el tipo de medición de altura utilizada (total o comercial) y el diámetro superior mínimo al cual se mide el volumen. Es evidente que las especificaciones de las tablas ya existentes ejercerán gran influencia en las especificaciones volumétricas que se indicarán en cualquier inventario.

Cuando en un inventario se deseen especificaciones volumétricas de las que pueden obtenerse en las tablas existentes, cabe la posibilidad de convertir estas últimas mediante las correlaciones apropiadas, pero si tal operación se revela imposible o práctica, habrá que construir nuevas tablas o bien utilizar relaciones volumétricas diferentes de las proporciones por las tablas. Con los datos obtenidos de las medidas de los árboles se pueden construir tablas de volumen por los métodos gráficos y matemáticos.

#### **a. Tablas construidas por métodos gráficos**

Es el método más antiguo el cual requiere de pocos conocimientos matemáticos, consiste en arreglar la trayectoria de la distribución adecuada de las observaciones, en un diagrama de dispersión de puntos. El resultado es una serie de curvas que representan el volumen en función del diámetro para diferentes clases de altura. En el cual posteriormente se realiza el trazado de una línea recta o curva, que se aproximan a los datos de volumen y diámetro. (Chávez, 1994).

Actualmente con los programas de computadora se calculan los métodos matemáticos o estadísticos, incluso hasta para la cubicación de tozas, por lo que el uso de los métodos gráficos son los menos usados por su imprecisión.



## **b. Tablas construidas por métodos matemáticos (estadísticos)**

Para Husch *et al*, 1982, el uso de modelos matemáticos el volumen de los árboles en pie puede estimarse en forma precisa, mediante la utilización de funciones volumétricas o del coeficiente mórfico. Las variables independientes que se utilizan de manera convencional para estimar el volumen de la variable dependiente (volumen) son el diámetro, la altura y el coeficiente mórfico.

En estos métodos se calculan los valores numéricos de la ecuación que define la línea de tendencia de la relación entre las variables; dichos valores se buscan por el procedimiento matemático llamado de “cuadrados mínimos”.

Para la búsqueda de los valores de las constantes de las fórmulas, siempre se parte de datos, de las variables, tomados en el campo (muestra). En otras palabras siempre se debe cubicar cierto número de árboles y tomar otros datos de las variables independientes. El resultado se presenta en forma tabular o modelo matemático (Hush *et al*, 1982).

Un porcentaje aceptable debe ser menor del 12%. Por ejemplo, un  $S\% = 10\%$  significa que entre los datos de los volúmenes reales y sus estimados (con la fórmula) habrá una diferencia; esta diferencia será de una cantidad inferior al 10% del valor del promedio del volumen de la muestra, (esto asumiendo que las desviaciones, entre volúmenes reales y estimados, tengan distribución normal).

- **Índice de ajuste (IA)**

De acuerdo a Burneo (1975), para comprobar la precisión entre las fórmulas aritméticas y logarítmicas cuyos errores de estimación no son comparables directamente. Mediante el error Standard de estimación, se puede hacer comparaciones directas entre fórmulas aritméticas; entre fórmulas logarítmicas solamente, mediante la siguiente fórmula:

$$IA = \frac{Syx(\bar{v}g)}{\log(e)}$$

En donde:

$S_{yx}$	=	error Standard de estimación, obtenido de los valores logarítmicos
$\bar{v}g$	=	promedio geométrico de la variable dependiente, o sea el antilogaritmo del promedio de los logaritmos de esa variable
$\log(e)$	=	valor constante que se utiliza cuando en el cálculo de la ecuación logarítmica se emplean logaritmos naturales en vez de logaritmos decimales

La fórmula del índice de ajuste, sirve para las fórmulas logarítmicas; en cambio cuando se trata de fórmulas aritméticas, el índice de ajuste es igual al error estándar de estimación. El índice de ajuste se lo emplea cuando se desea comparar entre una fórmula aritmética y otra logarítmica para determinar la precisión en la estimación. Entre dos fórmulas empleadas, más precisa es aquella que tiene menor índice de ajuste o menor error Standard de estimación.

### **c. Diferencia entre métodos gráficos y matemáticos**

De acuerdo a Loján (1981), ambos métodos dan estimaciones del volumen, pero el método matemático lo hace con más precisión.

El método gráfico no requiere muchos conocimientos matemáticos, además es fácil cuando se sabe manejar un sistema de coordenadas.

El método matemático requiere cálculos que a veces sólo se pueden hacer con una máquina calculadora, por el tiempo y cuidado que requieren, pero por otro lado tienen la ventaja de que se pueden utilizar pocos árboles como base para los cálculos.

### **d. Tablas de volumen de una entrada**

Cuando  $v = f(d)$ , la tendencia es una curva cuya ecuación toma la forma de:

$$v = ad^b$$
$$\log v = a + b \log d$$

En la que:

- $v$  = volumen (variable dependiente)  
 $d$  =  $D_{130}$  (variable independiente)  
 $a$  y  $b$  = constantes que definen la tendencia de la función.

Los valores más probables de las constantes  $a$  y  $b$ , se calculan por medio de cuadrados mínimos. Una vez encontrados los valores numéricos de dichas constantes se elaboran las tablas, calculando  $v$ , basándose en distintos valores de  $d$ . Para encontrar los valores de las constantes  $a$  y  $b$ , es necesario obtener datos de campo del diámetro y volumen de 3 a 5 árboles por cada clase diamétrica.

El procedimiento de cálculo de las constantes mediante el método de cuadrados mínimos en forma rápida se puede hacer siguiendo los pasos que a continuación se indican:

- Paso 1 Poner en columnas el  $D_{130}$  y el volumen encontrado.  
Paso 2 A continuación poner en otras dos columnas el logaritmo del  $D_{130}$  y el logaritmo del volumen.  
Paso 3 Una quinta columna con el cuadrado del logaritmo del  $D_{130}$ .  
Paso 4 Una sexta columna con los productos de cada logaritmo del  $D_{130}$  por el correspondiente logaritmo del volumen.  
Paso 5 Se suman las cuatro últimas columnas y se ponen sus totales al pie de cada una, en esta forma se tendrá:

$\sum \log d$	suma de logaritmos de diámetros = suma de la tercera columna.
$\sum \log v$	suma de logaritmos de volúmenes suma de la cuarta columna.
$\sum (\log d)^2$	suma de logaritmos de diámetros al cuadrado = suma de la quinta columna.
$\sum (\log d \log v)$	suma de los productos de los logaritmos del diámetro por el logaritmo del volumen = suma de la sexta columna.

Paso 6 A continuación se calculan los términos de corrección(TC):

$$TC \text{ para } \sum (\log d)^2 = \frac{(\sum \log d)^2}{n} = \frac{(\text{suma de la 3ra columna})^2}{n}$$

$n$ = número de árboles medidos

$$TC \text{ para } \sum (\log D \log v) = \frac{\sum \log d \cdot \sum \log v}{n}$$

Paso 7 En seguida se calculan:

Promedio de los logaritmos de los diámetros =

$$\frac{\sum \log d}{n}$$

Promedio de los logaritmos de los volúmenes =

$$\frac{\sum \log v}{n}$$

Suma de los cuadrados corregidos del diámetro=

$$\sum CCd = \sum (\log d)^2 - \frac{(\sum \log d)^2}{n}$$

Suma de los productos corregidos del diámetro por el volumen =

$$SPC = \sum (\log d \cdot \log v) - \frac{\sum \log d \cdot \sum \log v}{n}$$

Paso 8 Cálculo de la constante  $b$ :

$$b = \frac{\sum PC}{\sum CCd} = \frac{\text{Suma de productos corregidos}}{\text{Suma de cuadrados corregidos del diámetro}}$$

Paso 9 Cálculo de la constante  $a(\log a)$ :

$$\log a = \frac{\sum \log v}{n} = \frac{b(\sum \log d)}{n} = \text{promedio } \log v - \left( \frac{b}{\log d} \right)$$

La ecuación original:  $v = a d^2$  genera en forma gráfica una línea curva. En el papel logarítmico esta curva se transforma en recta.

Si hacemos:

$$\log v = \log a + b \log d$$

Si hacemos:

$$\log v = y$$

$$\log a = a$$

$$\log d = x$$

Se tiene:

$y = a + b x$ , es la ecuación de una línea recta, en la cual:

- $a$  = constante que indica el origen de la recta en el eje  $y$
- $b$  = coeficiente de regresión (o sea la pendiente de la recta)
- $x$  = variable independiente
- $y$  = variable de pendiente

Para construir las tablas de volumen de una entrada, se pueden aplicar las siguientes formulas:

Autor	Modelo
Kopecky – Gehrhardt	$v = b_0 + b_1 d^2$
Dissescu – Meyer	$v = b_1 d + b_2 d^2$
Hohenand – Krenn	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2$
Berkhout	$v = b_0 + d_1 b_1$
Hummel	$\log v = b_0 + b_1 \log d$

Busch	$\log v = b_0 + d_1 \log d$
Brenac	$\log v = b_0 + d_1 \log d + b_2 \frac{1}{d}$
Hummel	$v = b_0 + b_2 g$

En las que:

$v$	=	volumen
$d$	=	diámetro
$h$	=	altura
$g$	=	área basal
$b_0, b_5$	=	constantes (coeficiente de regresión)

#### e. Tablas de volumen de doble entrada

##### 1) Tabla de volumen de doble entrada basado en $v = a + b(d^2h)$

De acuerdo a Loján (1981), la fórmula  $v = a + b(d^2h)$  tiene el nombre de "variables combinadas", porque la variable independiente se reemplaza por la combinación de dos variables independientes:

El  $D_{130}$  y la altura  $x = d^2h$

Haciendo  $v = f(d^2h)$ , se tiene una función lineal por lo tanto la tendencia es una línea recta con una ecuación de la forma:

$$y = a + bx$$

Como:

$$x = d^2h; y = v$$

Se tiene:

$$v = a + b(d^2h)$$

Para el cálculo de las constantes  $a$  y  $b$  se necesitan los datos de  $D_{130}$ , altura y volumen de varios árboles apeados (150 a 200) dentro de todas las clases diamétricas.

Luego, se calcula o traza la regresión entre el volumen ( $y$ ) y el diámetro al cuadrado por altura ( $x$ ) para poder determinar los valores de las constantes  $a$  y  $b$ .

$a$  = coeficiente de regresión  
 $b$  = origen de la línea de regresión

Para el cálculo de las constantes por el método matemático, se puede seguir el siguiente procedimiento:

- Paso 1 Cálculo de los totales de las columnas:  
 $d, h$  (altura),  $v$  (volumen),  $d^2, \frac{d^2h}{100}, \left(\frac{d^2h}{100}\right)^2, v^2, \left(\frac{d^2h}{100}\right)v$
- Paso 2 Cálculo de los términos de corrección ( $TC$ )
- Paso 3 Cálculo de las sumas de cuadrados corregidos
- Paso 4 Cálculo del coeficiente de regresión  $b$  (o constante  $b$  de la ecuación) y la constante  $a$  (origen de la recta).
- Paso 5 Seguido se reemplazan los valores encontrados para las constantes  $a$  y  $b$  de la ecuación, y se elabora la tabla de doble entrada basada en de variables combinadas.
- Paso 6 Finalmente se somete la tabla a las respectivas pruebas de precisión.

## 2) Tabla de volumen de doble entrada basada en $v = a d^b h^c$

La fórmula  $v = a d^b h^c$   
 Equivale a:  $\log v = \log a + b \log d + c \log h$

Para el cálculo de las constantes  $a, b$  y  $c$ , se requiere medir el  $D_{130}$  ( $d$ ), la altura ( $h$ ) y el volumen ( $v$ ) de un buen número de árboles que incluyan todas las clases diamétricas. Con los datos listos, se siguen los siguientes pasos:

- Paso 1 Se prepara un cuadro con las siguientes columnas:  
 $D_{130}$  (cm),  $h$  altura (m),  $v$  volumen (m),  $\log d$ ,  $\log h$ ,  $(\log v + 2)$ ,  $(\log d)^2$ ,  
 $(\log d \log h)(\log d \log v + 2), (\log h \log v + 2)$

- Paso 2 Se calculan los términos de corrección.
- Paso 3 Se calculan las sumas de cuadrados y los productos corregidos.
- Paso 4 Se calcula el promedio de las variables.
- Paso 5 Se calculan los valores de las constantes.
- Paso 6 Se reemplazan los valores numéricos de las constantes en la ecuación.
- Paso 7 Se realizan las respectivas pruebas de precisión.
- Paso 8 Se elabora la tabla de volumen dando distintos valores a  $d$  y  $h$ .

Burneo (1975), expresa que para la construcción de tablas de volumen de dos entradas se pueden aplicar las siguientes fórmulas:

AUTOR	MODELO
Spurr	$v = b_0 + b_1 d^2 h$
Schumacher – Hall	$v = b_0 d^{a_1} h^{a_2}$
Honner	$v = \frac{d^2}{b_0 + b_1 \frac{1}{h_1}}$
Ogaya	$v = d^2(b_0 + b_1 h)$
Stotate	$v = b_0 + b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 d^2$
Naslund	$v = b_1 d^2 + b_2 d^2 h + b_3 d h^2 + b_4 h^2$
Takata	$v = \frac{d^2 h}{b_0 + b_1 d}$
Spurr	$\log v = b_0 + b_1 \log(d^2 h)$
Meyer	$v = b_0 + b_1 d + b_2 d^2 + b_3 d h + b_4 d^2 h + b_5 h$

En las que:

- $v$  = volumen
- $d$  = diámetro
- $h$  = altura
- $b_0, \dots, b_5$  = constantes
- $a_1, a_2$  = coeficientes de regresión de la fórmula de Schumacher – Hall



## **C. APROVECHAMIENTO EN EL ASERRADO**

### **1. El aprovechamiento volumétrico**

El aserrado es un proceso donde se transforman las trazas en piezas con caras planas y a escuadra (tablones y basas) (Fundación Chile, 1995, citado por Smith, 2001). Se define como aprovechamiento, la proporción de volumen cúbico de madera que entra a proceso, es transformada en madera aserrada y desechos (aserrín, tapas, orillas y despuntes), siendo por lo general, la madera aserrada, el elemento de mayor valor comercial (Fresard, 1977).

El aprovechamiento en el aserrado está directamente ligado al nivel de tecnología aplicado en el proceso. Es así como existen diferentes técnicas dependiendo el tipo de madera a procesar y los diámetros de las trozas involucrados. Para coníferas con diámetros reducidos entre 180 a 220 mm, se utilizan líneas de producción que mezclan herramientas de corte tipo sierra circular y chipper canter; mientras que para diámetros mayores se utilizan sierras huinchas. Otras técnicas para diámetros medios en coníferas utilizan una combinación de sierras huinchas múltiples con sierras circulares múltiples. Finalmente las técnicas más avanzadas de aserrado emplean una combinación de sierra circular, chipper canter y fresas, y que puede mejorar el aprovechamiento en un 60 a 68%.

Szymani (1993), establece que, aún con el perfecto conocimiento de la forma de la troza y su calidad, todavía se está enfrentado al problema de cuál va a ser el aprovechamiento del proceso de transformación primario y secundario, por lo que es necesario procesar la madera y evaluar la calidad de ésta.

A fin de obtener un alto aprovechamiento en madera aserrada y atender la mayor amplitud de mercados, suele ser necesario racionalizar los tamaños de la madera aserrada a obtener. Deben establecerse espesores y anchos normalizados, con clasificaciones que permitan que las dimensiones mayores sean descompuestas de nuevo por aserraderos u otras áreas que vuelven a elaborar la madera (FAO, 1982).

De acuerdo a Fronius (1984), los datos del aprovechamiento deben estar separados por calidad de madera a vender. Asimismo los aprovechamientos deben definirse según productos obtenidos: principales, secundarios, astillas, viruta o aserrín.

Una gran cantidad de factores influye sobre el aprovechamiento de madera aserrada. Las variables más significativas son: el ancho de corte, el esquema de corte, las dimensiones de la madera, el diámetro, longitud, conicidad y calidad de la troza, sobredimensión de la madera verde, la toma de decisiones del personal y las condiciones de mantención de la maquinaria (Melo y Rabón, 1989).

## **2. Determinación del volumen de desperdicio de madera en el proceso de aserrado**

De acuerdo a Collahuazo 2004, la determinación del volumen de desperdicio de madera en el proceso de aserrado, es la siguiente formula:

$$\text{vol. desperdicio} = \text{vol. Comercial en pie} - \text{vol. aserrado}$$

Volumen del desperdicio en %:

$$\frac{(vt - vc) 100}{vt}$$

## **3. Diferentes factores que inciden sobre el rendimiento volumétrico de madera aserrada.**

### **a. Diámetro de las trozas**

La opinión de los especialistas coincide con diversas investigaciones realizadas por Fahey y Ayer-Sachet (1993) indican que el diámetro de la troza es uno de los factores de mayor incidencia en el aserrío; demostrándose que en la medida que el diámetro aumenta también se incrementa el rendimiento de las trozas en el aserrío; por lo tanto el procedimiento de trozas de pequeñas dimensiones implica bajos niveles de rendimiento y menor ganancia en los aserraderos.

### **b. Longitud, conicidad y diagrama de troceado**

Binagorov (1984), afirma que el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrío es afectado por la longitud y por la conicidad de las trozas. En la medida que aumenten

ambos parámetros se incrementa la diferencia entre los diámetros en ambos extremos de la troza.

#### **c. Calidad de las trozas**

Casado (1997) confirma el efecto de la calidad de la troza, especialmente la incidencia de trozas torcidas en la calidad y volumen de la madera aserrada.

Todoroki (1995) expresa que existe una regla general de que un incremento en 0.1 de la proporción torcedura-diámetro conduce al decrecimiento del rendimiento volumétrico en un 5 %.

#### **d. Tipo de Sierra**

El ancho de corte influye sobre el rendimiento de madera aserrada ya que una vía de corte ancha se traduce en más pérdida de fibras de madera en forma de aserrín y la disminución de la eficiencia de la maquinaria (Egas, 1988).

Steele y Wagner (1990) expresan que una vía de corte ancha se traduce en más pérdidas de fibra de madera en forma de aserrín y la disminución de la eficiencia de la maquinaria.

#### **e. Diagrama de corte**

Egas (1988), coincide con diferentes autores, que afirman que los diagramas de corte tienen gran incidencia sobre la eficiencia de la conversión de madera aserrada; dependiendo de la calidad de la troza, del diseño del aserrío y de los gradientes de precio de la madera existente. El mismo autor explica que la aplicación de diagramas de corte teniendo en cuenta el diámetro, longitud, calidad y conicidad de las trozas; así como el tipo de sierra y otros factores, es una variante que favorece el incremento en calidad y cantidad de la producción de madera aserrada. Ello ha sido la base de los programas de optimización que permiten obtener resultados relevantes en la industria del aserrado.

### III. MATERIALES Y METODOLOGÍA

#### A. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

El estudio se realizó en la hacienda Las Cañas, provincia de Los Ríos, cantón Valencia, recinto El Vergel, sector Delia María, en el km. 6 de la vía Delia María – Fumisa, a una altitud de 180 msnm, en las coordenadas planas indicadas en el siguiente cuadro:

Vértice	<i>x</i>	<i>y</i>
1	0° 43' 8"	79° 20' 57"
2	0° 43' 7"	79° 20' 51"
3	0° 43' 39"	79° 20' 52"
4	0° 43' 40"	79° 20' 59"

#### 1. Características agroclimáticas

Temperatura media anual	:	25,2 °C
Precipitación media anual	:	1850 mm/año
Heliofanía media anual	:	850 horas/luz/año
Humedad relativa	:	82 %

Fuente: Estación meteorológica Pichilingüe – INAMHI

#### 2. Zona de vida

Según el diagrama de Zonas de Vida de L. Holdridge la zona de estudio corresponde a Bosque Húmedo Tropical (*bh – T*) (Cañadas, 1983).

#### 3. Formación natural

Basado en Sierra, et al. (1999), el área estudiada pertenece a la región pacífica costa en la que predomina la vegetación del Bosque siempre verde de tierras bajas y el Bosque siempre verde pre montano.

## **B. MATERIALES**

Los materiales utilizados en esta investigación se detallan a continuación:

### **1. Materiales de campo**

En la actividad de tumba, troceado y aserrado se utilizaron las siguientes herramientas:

- Motosierra, con sus respectivos insumos
- Plataforma para movilizar trozas
- Aserradero convencional para aserrado de balsa
- Tablero
- Lápiz
- Cinta métrica, diamétrica
- Hipsómetro de suunto
- Hojas de apunte (con formato predefinido)
- Borrador
- Crayones
- Pintura
- Brochas

### **2. Materiales de oficina**

- Computadora
- Software Office (Word, Excel)
- Papel bond A4
- Software StatGraphics XVI
- Impresora
- Flash Memory

## C. METODOLOGÍA

### 1. Toma de los datos para la muestra

Para el presente estudio se talaron 300 árboles de balsa, de una plantación de 5 años de edad, en una área elegida al azar dentro de la plantación Las Cañas, del sector El Vergel, con un  $D_{130}$  (Diámetro a 130 cm del suelo) mayor de 14 cm, en esta muestra se tomaron la mayoría de las clases diamétricas de la especie. En el estudio no formaron parte de la muestra los árboles muertos, con hendiduras a lo largo del fuste, deformes y enfermos (sea por producto de daños mecánicos, hongos e insectos).

Los árboles talados, se marcaron utilizando pintura y brocha, se le dio una codificación previamente definida para hacer su adecuado seguimiento, seguido se procedió a tomar todas las medidas necesarias para estudiar las diferentes relaciones dasométricas. Las trozas obtenidas de cada árbol se aserraron y seguido en las piezas (listones) se midió largo, ancho y espesor, finalmente se determinó el porcentaje de desperdicio en el proceso de aserrado.

### 2. Relación entre el $D_{130}$ y la altura

Con el objetivo de obtener los datos necesarios para las diferentes interacciones dasométricas de los 300 árboles talados, se midió el  $D_{130}$  desde la base del suelo y la altura total, mediante el uso de hipsómetro de suunto. Por otro lado se obtuvo la medida total, desde la base del árbol hasta la copa, mediante el uso de una cinta métrica de 40 metros, esto se lo realizó después de que se tumbó cada árbol.

### 3. Cubicación de los árboles muestreados

En cada uno de los árboles que pasaron a formar parte de la muestra, se midió el  $D_{130}$ . Luego se midió los diámetros de cada troza de acuerdo a las características de la forma del árbol, hasta la altura aprovechable o el diámetro mínimo (14 cm), utilizando la cinta métrica y diamétrica. Con estos datos y utilizando la fórmula de "Smalian", se procedió a cubicar los árboles de la muestra en forma individual, utilizando la siguiente fórmula:

$$vf = \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) l_1 + \left(\frac{A_1 + A_2}{2}\right) l_2 + \dots \dots \dots + \left(\frac{A_n + A_n}{2}\right) l_n$$

En donde:

$vf$	= volumen del fuste
$l_1, l_2$	= longitud de las trozas
$l_n$	= longitud de la última troza
$A_1, A_2, A_n$	= áreas de las secciones en el extremo de cada troza

#### 4. Determinación del factor volumétrico de forma

Una vez obtenidos los volúmenes de cada árbol, mediante la fórmula de Smalian y el volumen de los cilindros correspondientes, se procedió a calcular el factor volumétrico de forma, relacionando el volumen del árbol con el volumen del cilindro, se utilizó la siguiente fórmula:

$$f = \frac{v_1}{v_2}$$

En la que:

$v_1$	= volumen del fuste con o sin corteza
$v_2$	= volumen del cilindro correspondiente
$f$	= factor de forma

Para la forma usa “ $f$ ”, minúscula y cursiva, se llama “factor de forma” es una relación entre volúmenes.

El volumen del cilindro se calculó con la siguiente fórmula:

$$v_2 = \frac{\pi d^2 l}{4}$$

En la que:

$l$	= longitud
$d$	= $D_{130}$
$\pi$	= 3,1415926

## 5. Elaboración de tablas de volumen

Para la elaboración de tablas de volumen se utilizó los métodos matemáticos.

### a. Tablas de volumen construidas por métodos matemáticos

Para la construcción de las tablas de volumen por métodos matemáticos, se probaron cuatro ecuaciones o fórmulas de regresión, a fin de conocer y utilizar la fórmula que estime el volumen con menor error.

#### 1) Tablas de volumen de una entrada

Para la elaboración de las tablas de una entrada se utilizó dos fórmulas, una aritmética y otra logarítmica.

- **Fórmula aritmética  $v = a + bx$**

En esta fórmula la variable dependiente es el volumen ( $v$ ); el diámetro ( $x$ ), la variable independiente; “ $a$ ” es la constante que indica el origen de la curva; “ $b$ ” igualmente es una constante y representa al coeficiente de regresión. Para calcular los valores de las constantes se utilizó los métodos matemáticos, como sigue:

Paso a: Se ordenó los datos de campo de los 300 árboles, como se indicó anteriormente

Paso b: Se calculó los términos de corrección ( $TC$ )

$$TC \text{ para } \sum Cx = \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$TC \text{ para } \sum Cy = \frac{\sum y^2}{n}$$

$$TC \text{ para } \sum Pxy = \frac{(\sum x)(\sum y)}{n}$$



Paso c: Se calculó la suma de cuadrados y productos corregidos

$$\begin{aligned}\sum CCx &= \sum Cx (TCx) \\ \sum CCy &= \sum Cy - TCy \\ \sum PCxy &= \sum Pxy - TCxy\end{aligned}$$

Paso d: Se calculó los promedios de las variables

$$\begin{aligned}\bar{x} &= \frac{\sum x}{n} \\ \bar{y} &= \frac{\sum y}{n}\end{aligned}$$

Paso e: Se calculó el coeficiente de regresión ( $b$ ) y el valor de la constante ( $a$ )

$$\begin{aligned}b &= \frac{\sum PCxy}{\sum CCy} \\ a &= \bar{y} - b\bar{x}\end{aligned}$$

Paso f: Se obtuvo la ecuación de regresión ( $y$ ). Se reemplazó los valores de las constantes en  $y = a + b x$ , donde se obtuvo la ecuación.

Paso g: A continuación se aplicaron las siguientes pruebas de precisión:

Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

$$R^2 = \frac{(\sum PCx)^2}{(\sum CCx)(\sum CCy)}$$

Coeficiente de correlación ( $r$ )

$$r = \sqrt{R^2}$$

Error Standard de estimación  $S_{yx}$  ( $S$ )

$$S^2_{xy} = \frac{(\sum CCy) - \frac{(\sum PCxy)^2}{\sum CCx}}{\sum w - 2}$$

Error en porcentaje

$$Syx (\%) = \frac{s_{yx}}{\bar{y}} * 100$$

En las que:

$n$	=	número de la muestra
$TC$	=	términos de corrección
$\Sigma$	=	sumatoria
$\bar{x}, \bar{y}$	=	promedio
$\Sigma C$	=	suma de cuadrados
$\Sigma CC$	=	suma de cuadrados corregidos
$b_{xy}$	=	coeficiente de regresión (constante $b$ )
$S_{yx}$	=	error estándar de estimación ( $s$ )
$R^2$	=	coeficiente de determinación
$S_{yx} \%$	=	error Standard porcentual

- **Fórmula logarítmica:  $\log v = \log a + b \log d$**

El  $\log v$  = es la variable dependiente;  $\log d$  variable independiente; “ $a$ ” y “ $b$ ” son las constantes que definen la tendencia de la función. Para el cálculo de los valores de dichas constantes, se siguió los siguientes pasos:

Términos de corrección

$$TC \quad \text{para} \quad \Sigma(\log d)^2 = \frac{\Sigma(\log d)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad \Sigma(\log v)^2 = \frac{\Sigma(\log v)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad \Sigma(\log d, \log v) = \frac{\Sigma(\log d) \Sigma(\log v)}{n}$$

Suma de cuadrados y productos corregidos

$$\Sigma CCd = \Sigma(\log d)^2 - TCd$$

$$\Sigma CCv = \Sigma(\log v)^2 - TCv$$

$$\sum PCvd = \sum (\log d \log v) - TCvd$$

Promedios de las variables

$$\bar{x} = \frac{\sum \log d}{n} \quad \bar{v} = \frac{\sum \log v}{n}$$

Se calculó el coeficiente de regresión “b”

$$b = \frac{\sum PCvd}{n}$$

Luego se calculó el valor de la constante “a”

$$a = \frac{\sum \log v}{n} - \frac{b \sum (\log d)}{n}$$

Se reemplazaron los valores numéricos de las constantes y se obtuvo la ecuación buscada. Después se realizaron las siguientes pruebas de precisión:

Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

$$R^2 = \frac{(\sum PCvd)^2}{n}$$

Coeficiente de correlación (r)

$$r = \sqrt{R^2}$$

Error estándar de estimación  $S_{xy}$  (S)

$$S = \sqrt{\frac{(\sum CCv) - b(\sum PCv)d}{n - 2}}$$

Error de estimación en porcentaje ( $S_{xy} \%$ )

$$S = \frac{S_{yx}}{\bar{v}} 100$$

Índice de ajuste ( $IA$ )

$$IA = \frac{\sum yx (\overline{vg})}{0,434294}$$

$$\log = \overline{vg} = \frac{\sum \log v}{n}$$

En las que:

$\Sigma$	= sumatoria
$\Sigma \log d$	= $\Sigma x$ = suma de los logaritmos de $d$ (suma de $x$ )
$\Sigma \log v$	= $\Sigma y$ = suma de los logaritmos de $v$ (suma de $y$ )
$d$	= diámetro
$v$	= volumen
$n$	= número de la muestra
$\log a$	= $a$ (origen de la curva)
$b$	= coeficiente de regresión
$\bar{v} = \bar{y}$	= promedio de los logaritmos del volumen
$\bar{d} = \bar{x}$	= promedio de los logaritmos del diámetro
$\overline{vg}$	= promedio geométrico del volumen
$IA$	= índice de ajuste
$\log e$	= 0,434293 base de los logaritmos naturales.

## 2) Tablas de volumen de doble entrada

Para la elaboración de las tablas de volumen de dos entradas o tablas estándar, se utilizó las siguientes fórmulas:

- **Fórmula aritmética:**  $v = a + b (d^2 h)$

A esta fórmula se la conoce con el nombre de ecuación de “variables combinadas”, la variable independiente se la reemplazó por la combinación de las variables independientes que son el cuadrado del  $D_{130}$  y la altura comercial ( $h$ ) siendo  $(d^2 h)$ . La

variable dependiente es el volumen. Para encontrar los valores de las constantes “a” y “b” de la ecuación se siguió los siguientes pasos:

Cálculo de los términos de corrección

$$TC \quad \text{para} \quad \sum(d^2h) = \frac{\sum(d^2)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad \sum v^2 = \frac{\sum(v)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad \sum(d^2h)v = \frac{\sum\left(\frac{d^2h}{100}\right)\sum(v)}{n}$$

Cálculo de la suma de cuadrados y productos corregidos

$$\sum CC \quad \text{para} \quad d^2h = \sum(d^2h) - \frac{\sum(d^2h)^2}{n}$$

$$\sum CC \quad \text{para} \quad v = \sum(v)^2 - \frac{\sum(v)^2}{n}$$

$$\sum CC \quad \text{para} \quad (d^2h)v = \sum(d^2h)v - \sum(d^2h)\frac{(\sum v)}{n}$$

Promedios de las variables

$$\bar{x} = \frac{\sum(d^2h)}{n}$$

$$\bar{v} = \frac{\sum v}{n}$$

Cálculo del coeficiente de regresión “b”

$$b = \frac{\sum PC \, v(d^2h)}{\sum CC \, d^2h} 100$$

Cálculo de la constante “a” (origen de la línea de tendencia)

$$a = \frac{\sum v}{n} - \frac{b(\sum d^2 h)}{n} 100$$

Se reemplazaron los valores de las constantes, de esta manera se obtuvo la ecuación buscada, luego se efectuó las respectivas pruebas de precisión

$$R^2 = \frac{(\sum CCv (d^2h))^2}{(\sum CCd^2h)(\sum CCv)}$$

Coeficiente de correlación ( $r$ )

$$r = \sqrt{R^2}$$

Error estándar de estimación  $S_{yx}$  ( $S$ )

$$S = \sqrt{\frac{\sum CCv - \frac{\sum CCv(d^2h)^2}{\sum CCd^2h}}{n - 2}}$$

Error estándar de estimación expresado en %

En las que:

$\Sigma$	= sumatoria
$S$	= error standard de estimación
$S\%$	= error estándar de estimación porcentual.
$R^2$	= coeficiente de determinación
$r$	= coeficiente de correlación
$d^2h$	= $x$ = variable independiente (variables combinadas)
$v$	= volumen (variable dependiente)
$\bar{x}$	= promedio de las variables combinadas
$\bar{y} = \bar{v}$	= promedio del volumen
$b$	= constante (coeficiente de regresión)

- **Fórmula logarítmica:**  $\log v = \log a + b \log d + c \log h$

El antilogaritmo es:

$$(v = a + d^b h^c)$$

$$v = b_0 d^{a_1} h^{a_2}$$

Esta fórmula es conocida como la ecuación de “Schumacher” en la que el  $d = D_{130}$  y la altura son las variables independientes. La variable dependiente es el volumen:  $a$ ,  $b$  y  $c$  son las constantes, para el cálculo de estos valores se siguió los siguientes pasos.

Se ordenó los datos de campo y se calculó los términos de corrección:

$$TC \quad \text{para} \quad \log d(D_{130})(x) = \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad \log l(y) = \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad \log v(z) = \frac{(\sum z)^2}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad xz = \frac{(\sum x)(\sum z)}{n}$$

$$TC \quad \text{para} \quad yz = \frac{(\sum y)(\sum z)}{n}$$

Se calculó la suma de cuadrados y productos corregidos.

$$\sum CCx = \sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}$$

$$\sum CCy = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n}$$

$$\sum CCz = \sum z^2 - \frac{(\sum z)^2}{n}$$

$$\sum PCxy = \sum xy - \frac{(\sum y)(\sum x)}{n}$$

$$\sum PCxz = \sum xz - \frac{(\sum x)(\sum z)}{n}$$

$$\sum PCyz = \sum yz - \frac{(\sum y)(\sum z)}{n}$$

Se calculó el promedio de las variables

$$\bar{y} = \frac{\sum \log v (y + 2)}{n}$$

Se calculó la constante “c”

$$c = \frac{\sum PCyz - \frac{(\sum PCxz)(\sum PCxy)}{\sum CCx}}{\sum CCz - \frac{(\sum PCxz)^2}{\sum CCx}}$$

Se calculó la constante “b”

$$b = \frac{\sum PCxy - c(\sum PCxz)}{\sum CCx}$$

Se calculó la constante “a”

$$a = \frac{\sum y - c(\sum z) - b(\sum x)}{n}$$

Seguido se remplazó los valores numéricos de las constantes de la ecuación buscada.

Continuando el proceso estadístico se calculó las pruebas de precisión

Coeficiente de determinación ( $R^2$ )

$$R^2_{xyz} = \frac{b(\sum PCxy) - c(\sum PCyz)}{\sum CCy}$$

Coeficiente de correlación ( $r$ )

$$R = \sqrt{R^2}$$



Error Standard de estimación  $S_{yxz}$  ( $S$ )

$$S = \sqrt{\frac{\sum CCy - b(\sum PCxy) - c(\sum PCyz)}{n - 3}}$$

Error Standard de estimación en %

$$S\% = \frac{S}{v} 100$$

Índice de ajuste ( $IA$ )

$$IA = \frac{S_{yxz} (\bar{v}g)}{\log e} \bar{v}g = \log e \frac{S \log v}{n}$$

En las cuales:

$\Sigma$	= suma
$n$	= número de la muestra
$a$	= origen de la curva
$b, c$	= coeficiente de regresión parcial entre la variable dependiente y la independiente. También se denominan constantes.
$\sum PC xy$	= suma de productos corregidos de $xy$
$\sum PC xy$	= suma de productos corregidos de $xz$
$\sum PC yz$	= suma de productos corregidos de $yz$
$\sum CCx$	= suma de cuadrados corregidos de $x$
$\sum CCy$	= suma de cuadrados corregidos de $y$
$\sum CCz$	= suma de cuadrados corregidos de $z$
$x$	= Log del $D_{130}$
$y$	= Log del volumen
$z$	= Log de la altura
$\sum y$	= suma de los logaritmos del volumen
$\sum x$	= suma de los Log del $D_{130}$
$\sum z$	= suma de los Log de la altura
$\bar{v} \log$	= promedio de los logaritmo del volumen
$S_{yxz}(s)$	= error Standard de estimación

$s\%$	= error Standard en porcentaje
$R^2$	= coeficiente de determinación
$r$	= coeficiente de correlación
$\log e$	= 0,434294

### 3) Clases de ecuaciones empleadas en la elaboración de tablas de volumen de una y doble entradas de *Ochroma pyramidale* por métodos matemáticos.

A continuación se presentan las ecuaciones utilizadas para la elaboración de las tablas de volumen por el método matemático:

- Tablas de una entrada, con sus respectivas ecuaciones aritméticas y Logarítmicas
- Tablas de doble entrada, con sus respectivas ecuaciones Aritméticas y logarítmicas

## 6. Determinación del porcentaje de aprovechamiento en el proceso de aserrado

Para determinar el porcentaje de aprovechamiento en el aserrado de la madera se aplicó la siguiente formula:

$$p_{ap} = \frac{v_a (m^3)}{v_c (m^3)} 100$$

En donde:

$p_{ap}$	= porcentaje de aprovechamiento
$v_a$	=volumen de madera aserrada
$v_c$	=volumen en troza

El volumen de Aprovechamiento, se obtuvo mediante la resta entre el volumen en troza y el de madera aserrada. Por este mismo método se calculó el porcentaje de aprovechamiento en el proceso de aserrado.

En el estudio se realizó la clasificación de aprovechamiento de la madera por clase diamétrica, lo cual nos ayudó a determinar cuáles son las clases diamétricas mas optimas en el momento del aserrado y se obtuvo el aprovechamiento a partir de:

- Diámetro de las trozas
- Longitud, conicidad y diagrama de troceado
- Calidad de las trozas
- Tipo de sierra
- Diagrama de corte

De acuerdo a los datos obtenidos, se determinó el porcentaje de madera aprovechada desde el árbol en pie hasta el aserrado.

**a. Porcentaje de aprovechamiento de madera de los árboles en pie vs trozas aprovechados en el presente estudio.**

El volumen bruto para cada árbol fue calculado teniendo en cuenta las variables altura comercial y diámetro  $D_{130}$  en centímetros, mediante la aplicación de la fórmula del volumen total (árbol en pie).

$$v_t = 0,7854 \left( \frac{D_{130}}{100} \right)^2 h f$$

En donde  $f$  corresponde al factor forma con un valor genérico de 0,7 para el caso de especies forestales del bosque húmedo tropical (bh-T).

El volumen de las trozas se calculó con la fórmula de smalian:

$$v_c = \left( \frac{d_1 + d_2}{2} \right) l_1 + \left( \frac{d_2 + d_3}{2} \right) l_2 + \dots + \left( \frac{d_n + d_n}{2} \right) l_n$$

Los resultados obtenidos para esta etapa se expresaron inicialmente en  $m^3$  y posteriormente se llevaron a porcentaje (%).

$$\frac{(v_t - v_c)}{v_t} 100$$

**b. Cálculo del porcentaje de desperdicio de madera de las trozas aprovechadas vs listones aserrados.**

Para esto se analizó los listones y se determinó el volumen aserrado (listones de madera) de acuerdo a la siguiente formula:

$$v_a = l * a * e$$

Dónde:

$v_a$	=	volumen de la madera aserrada en $m^3$
$e$	=	espesor del listón en centímetros (cm)
$a$	=	ancho del listón en centímetros (cm)
$l$	=	longitud del listón en centímetros (cm)

Para el análisis se tomó en cuenta los 300 árboles del estudio, dentro de la cuales se clasificaron 2814 trozas, que posteriormente generaron 8841 listones, referidos de acuerdo al árbol y trozas individualmente identificadas.

## IV. RESULTADOS

De acuerdo a los datos obtenidos en el campo (Anexo 1). A continuación se presentan los resultados del trabajo en forma individual de acuerdo a las relaciones efectuadas.

### A. CORRELACIÓN ENTRE EL $D_{130}$ Y LA ALTURA COMERCIAL

La Relación entre el  $D_{130}$  y la Altura Comercial presentan un coeficiente de correlación del 69,9%, este es un valor bastante representativo, tomando en cuenta que la balsa tiene una estructura y aprovechamiento muy diferente a otras especies forestales (Cuadro 1 y Anexo 2).

**Cuadro 1.** Coeficientes de precisión de la relación entre el  $D_{130}$  en centímetros ( $x$ ) y la altura comercial en metros ( $y$ ) ( $n = 300$ ) de *Ochroma pyramidale*, El Vergel, Prov. Los Ríos, 2012.

Fórmulas empleadas	$R^2$	$r$	$Syx$	$Syx \%$
$y = a + b x$				
$y = 7,467 + 0,350 (x)$	0,489	0,699	1,778	9,625

$R^2$	=	coeficiente de determinación
$r$	=	coeficiente de correlación
$Syx$	=	error Standard de la estimación
$Syx \%$	=	error Standard de porcentaje

**Cuadro 2.** Cálculos de las constantes de las ecuaciones  $y = a + bx$ , relación entre  $D_{130}$  y la altura comercial de *Ochroma pyramidale*, El vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

No. del árbol	$D_{130}$ (cm) $x$	Altura Comercial (m) $y$	$x^2$	$y^2$	$xy$
1	41,380	23,670	1.712,328	560,269	979,471
2	34,696	18,460	1.203,797	340,772	640,484
3	41,380	25,960	1.712,328	673,922	1.074,232
4	38,197	26,540	1.459,025	704,372	1.013,753
5	41,380	23,280	1.712,328	541,958	963,333
6	31,831	18,330	1.013,212	335,989	583,462
7	43,608	23,740	1.901,697	563,588	1.035,265
8	49,338	24,010	2.434,241	576,480	1.184,606
9	35,014	17,130	1.225,986	293,437	599,791
10	44,563	20,570	1.985,895	423,125	916,669
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---
290	36,5	22,19	1.335,316	492,396	810,866
291	26,7	16,63	714,922	276,424	444,546
292	36,3	18,43	1.316,770	339,812	668,921
293	25,8	16,57	664,768	274,598	427,252
294	31,5	19,15	993,049	366,837	603,562
295	18,5	11,16	343,199	124,546	206,746
296	27,5	19,44	758,110	377,758	535,147
297	22,9	13,71	523,791	187,992	313,797
298	24,9	16,35	618,020	267,159	406,337
299	28,7	13,47	826,182	181,387	387,116
300	25,3	16,88	638,765	284,833	426,546
<b>Total</b>	9.475,124	5.542,156	310.928,353	105.415,988	179.201,152
<b>Promedio</b>	31,584	18,474			
<b>Términos de corrección</b>			299.259,917	102.384,977	175.042,051
<b>Suma de cuadrados y productos corregidos</b>			11.668,436	3.031,011	4.159,100

$$b = \frac{\sum PCxy}{\sum CCx} = \frac{4.159,100}{11.668,436} = 0,3564$$

$$a = \bar{y} - bx = 18,474 - 0,3564(31,584) = 7,216$$

La ecuación es:

$$y = 7,2116 + 0,3564x$$

$$R^2 = \frac{(\sum PCxy)^2}{(\sum CCx)(\sum CCy)} = \frac{4.159,10^2}{(11.668,436)(3.031,011)} = 0,489$$

$$r = \sqrt{R^2} = 0,699$$

$$Syx = \sqrt{\frac{(\sum CCy) - b(\sum PCxy)}{n - 2}} = \sqrt{\frac{3.031,011 * 4.159,100}{300 - 2}} = 1,778$$

$$Syx(\%) = \frac{s_{yx}}{\bar{y}} 100 = \frac{1,778}{18,474} 100 = 9,625$$

## B. DETERMINACIÓN DEL FACTOR DE FORMA ( $f$ )

El factor de forma ( $f$ ) determinado fue 0,73 para el rango 30 a 39,99 donde se encuentra el mayor número de frecuencias (Cuadro 3 y Cuadro 4).

**Cuadro 3.** Promedio del  $D_{130}$  (cm) y factores volumétricos de forma para *Ochroma Pyramidale*, El Vergel, Prov. De los Ríos, 2012.

Clase Diamétrica	Promedio	Frecuencia	Factor de Forma
10 - 19,99	18,65	5	0,929
20 - 29,99	26,99	128	0,817
30 - 39,99	33,99	137	0,763
40 - 49,99	43,71	28	0,693
50 - 59,99	50,93	2	0,606
<b>N</b>		<b>300</b>	
<b>Promedios</b>			<b>0,73</b>

**Cuadro 4.** Factor de forma ( $f$ ) de *Ochroma pyramidale*, El Vergel, Prov. de los Ríos, 2012.

No. del árbol	Volumen ( $v_1$ )	Volumen del cilindro ( $v_2$ )	Factor de forma ( $f$ )
1	2,242	3,183	0,704
2	1,398	1,745	0,801
3	2,386	3,491	0,683
4	2,053	3,041	0,675
5	2,306	3,131	0,736
6	1,078	1,459	0,739
7	2,567	3,546	0,724
8	3,130	4,590	0,682
9	1,148	1,649	0,696
10	2,493	3,208	0,777
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
---	---	---	---
290	1,422	2,327	0,611
291	0,608	0,934	0,652
292	1,435	1,906	0,753
293	0,759	0,865	0,877
294	0,898	1,494	0,601
295	0,289	0,301	0,960
296	0,867	1,157	0,749
297	0,525	0,564	0,932
298	0,609	0,793	0,767
299	0,832	0,874	0,952
300	0,700	0,847	0,826

$$f = \frac{v_1}{v_2} = \frac{1,141}{1,573} = 0,73$$



## C. TABLAS DE VOLUMEN CONSTRUIDAS POR MÉTODOS MATEMÁTICOS

### 1. Tablas de una entrada

El coeficiente de correlación es de 0,958 en la ecuación aritmética y 0,974 en la ecuación logarítmica  $\log v = \log a + b \log d$ , lo que indica que son excelentes datos; En el Cuadro 3 se puede observar las ecuaciones utilizadas para la elaboración de estas tablas de volumen de una entrada con sus respectivos coeficientes de precisión.

**Cuadro 5.** Ecuaciones para construir tablas de volumen de una entrada de *Ochroma Pyramidale* por métodos matemáticos en función del diámetro. El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

Fórmulas empleadas	$R^2$	$r$	$S_{xy}$	$S_{xy}\%$	$IA - S_{xy}$
$v = a + bd$					
$v = -2,528 + 0,1299d$	0,915	0,956	0,248	15,75	0,248
$\log v = \log a + b \log d$					
$\log v = -0,824 + 2,657d$	0,947	0,973	0,05	1,72	0,00464

- $R^2$  = coeficiente de determinación  
 $r$  = coeficiente de correlación  
 $S_{yx}$  = error Standard de la estimación  
 $S_{yx}\%$  = error Standard porcentual  
 $IA$  = índice de ajuste  
 $v$  = volumen en metros cúbicos  
 $d$  =  $D_{130}$  en centímetros

Las tablas de volumen de una entrada de *Ochroma pyramidale*, presenta el coeficiente de correlación de 0,956 en la ecuación aritmética y 0,973 en la ecuación logarítmica, lo que indica que son excelentes. Las ecuaciones utilizadas para la elaboración de estas tablas de volumen y sus respectivos coeficientes de precisión se encuentran en el Cuadro 6.

En las Tablas 1 y 2, se registran los volúmenes de una entrada determinados por el método matemático.

**Cuadro 6.** Tablas de volumen de una entrada de *Ochroma pyramidale*, por métodos matemáticos y las pruebas de precisión, El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

No. Árbol	$D_{130}$ (cm)	volumen $m^3$	w	wx	wy	wc 3 + 4 + 5	wx <sup>2</sup>	wxy	wxc 4 + 7 + 8	wy <sup>2</sup>	wyc 5 + 8 + 10
1	41,38	3,183	1	41,38	3,183	45,564	1.712,328	131,725	1.885,434	10,133	145,042
2	34,70	1,745	1	34,70	1,745	37,441	1.203,797	60,555	1.299,048	3,046	65,347
3	41,38	3,491	1	41,38	3,491	45,872	1.712,328	144,469	1.898,178	12,189	160,150
4	38,20	3,041	1	38,20	3,041	42,238	1.459,025	116,168	1.613,390	9,249	128,458
5	41,38	3,131	1	41,38	3,131	45,511	1.712,328	129,555	1.883,263	9,802	142,488
6	31,83	1,459	1	31,83	1,459	34,290	1.013,212	46,431	1.091,473	2,128	50,017
7	43,61	3,546	1	43,61	3,546	48,154	1.901,697	154,626	2.099,932	12,573	170,745
8	49,34	4,590	1	49,34	4,590	54,928	2.434,241	226,479	2.710,059	21,071	252,141
9	35,01	1,649	1	35,01	1,649	37,664	1.225,986	57,753	1.318,754	2,721	62,123
10	44,56	3,208	1	44,56	3,208	48,772	1.985,895	142,975	2.173,433	10,293	156,477
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
295	18,53	0,301	1	18,53	0,301	19,826	343,199	5,573	367,298	0,090	5,964
296	27,53	1,157	1	27,53	1,157	29,691	758,110	31,864	817,508	1,339	34,360
297	22,89	0,564	1	22,89	0,564	24,451	523,791	12,909	559,587	0,318	13,791
298	24,86	0,793	1	24,86	0,793	26,653	618,020	19,723	662,603	0,629	21,146
299	28,74	0,874	1	28,74	0,874	30,617	826,182	25,119	880,045	0,764	26,757
300	25,27	0,847	1	25,27	0,847	27,121	638,765	21,399	685,438	0,717	22,963
<b>Σ</b>	9475,12	472,03	300,00	9475,12	472,026	10.247,150	310.928,353	16.423,576	336.827,053	957,770	17.853,372
<b>Media</b>				31,584	1,573						

### Términos de corrección

$$\frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = \frac{(9.475,12)^2}{300} = 299.259,92$$

$$\frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = \frac{(472,03)^2}{300} = 742,697$$

$$\frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = \frac{(9.475,12)(472,03)}{300} = 14.908,364$$

### Suma de cuadrados y productos corregidos

$$\sum CCx = \sum wx^2 - \frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = 310.928,35 - \frac{9.475,12^2}{300} = 11.668,44$$

$$\sum CCy = \sum wy^2 - \frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = 957,77 - \frac{472,03^2}{300} = 215,073$$

$$\sum PCxy = \sum wxy - \frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = 16.423,58 - \frac{(9.475,12)(472,03)}{300} = 1.515,212$$

### Ecuaciones

$$b = \frac{\sum PCxy}{\sum CCx} = \frac{1.515,212}{11.668,44} = 0,1299$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 1,573 - 0,129(31,584) = -2,528$$

$$v = a + bx = -2,528 + 0,129(x)$$

$$R^2 = \frac{(\sum PCx)^2}{(\sum CCx)(\sum CCy)} = \frac{(1.515,212)^2}{(11.668,44)(215,212)} = 0,915$$

$$r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,915} = 0,956$$

$$S^2_{xy} = \frac{(\sum CCy) - \frac{(\sum PCxy)^2}{\sum CCx}}{\sum w - 2} = \frac{(215,073) - \frac{(1.515,212)^2}{11.668,44}}{300 - 2} = 0,061$$

$$Syx = \sqrt{S^2_{xy}} = \sqrt{0,061} = 0,247$$

$$Syx (\%) = \frac{Syx}{\bar{y}} 100 = \frac{0,247}{1,573} = 15,755$$

**Tabla 1.** Volumen de *Ochroma pyramidale* mediante tabla de volumen de una entrada, considerando el  $D_{130}$  y la ecuación obtenida por método matemático  $y = -2,528 + 0,1299(x)$ , El Vergel, Prov. de los Ríos, 2012.

$D_{130}$ (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	$D_{130}$ (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )
20	0,069	36	2,147
21	0,199	37	2,277
22	0,329	38	2,407
23	0,459	39	2,536
24	0,588	40	2,666
25	0,718	41	2,796
26	0,848	42	2,926
27	0,978	43	3,056
28	1,108	44	3,186
29	1,238	45	3,316
30	1,368	46	3,445
31	1,497	47	3,575
32	1,627	48	3,705
33	1,757	49	3,835
34	1,887	50	3,965
35	2,017	51	4,095

**Cuadro 7.** Cálculo de las constantes de la ecuación logarítmica;  $\log v = \text{Log } a + b \log x$  para la elaboración de las tablas de volumen de una entrada de *Ochroma pyramidale*, por métodos matemáticos y las pruebas de precisión, El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

Nº	$D_{130}$	volumen	w	Log x	log y	wc	$wx^2$	wxy	wxc	$wy^2$	wyc
ÁRBOL	(cm)	$m^3$		wx	wy	3 + 4 + 5			4 + 7 + 8		5 + 8 + 10
1,00	41,38	3,183	1	1,617	3,503	6,120	2,614	5,663	9,894	12,270	21,436
2,00	34,70	1,745	1	1,540	3,242	5,782	2,373	4,993	8,906	10,510	18,745
3,00	41,38	3,491	1	1,617	3,543	6,160	2,614	5,728	9,959	12,553	21,824
4,00	38,20	3,041	1	1,582	3,483	6,065	2,503	5,510	9,595	12,132	21,125
5,00	41,38	3,131	1	1,617	3,496	6,113	2,614	5,652	9,883	12,220	21,367
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
295,00	18,53	0,301	1	1,268	2,478	4,746	1,607	3,142	6,017	6,142	11,762
296,00	27,53	1,157	1	1,440	3,063	5,503	2,073	4,411	7,924	9,385	16,859
297,00	22,89	0,564	1	1,360	2,751	5,111	1,849	3,741	6,949	7,570	14,062
298,00	24,86	0,793	1	1,396	2,900	5,295	1,947	4,046	7,389	8,407	15,353
299,00	28,74	0,874	1	1,459	2,942	5,400	2,127	4,290	7,876	8,652	15,884
300,00	25,27	0,847	1	1,403	2,928	5,330	1,968	4,107	7,477	8,572	15,606
<b>Σ</b>	9.475,12	472,026	300	447,356	941,170	1.688,526	669,245	1.409,216	2.525,818	2.968,915	5.319,301
<b>MEDIA</b>				1,491	3,137						

w = expresión with (Con)

### Términos de corrección

$$\frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = \frac{(447,356)^2}{300} = 667,091$$

$$\frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = \frac{(941,170)^2}{300} = 2.952,668$$

$$\frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = \frac{(447,356)(941,170)}{300} = 1403,460$$

### Suma de cuadrados y productos corregidos

$$\sum CCx = \sum wx^2 - \frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = 669,245 - \frac{447,356^2}{300} = 11.668,44$$

$$\sum CCy = \sum wy^2 - \frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = 2968,915 - \frac{941,170^2}{300} = 16,2$$

$$\sum PCxy = \sum wxy - \frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = 1409,216 - \frac{(447,356)(941,170)}{300} = 5,76$$

### Ecuaciones

$$b = \frac{\sum PCxy}{\sum CCx} = \frac{15,76}{11.668,44} = 2,672$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 3,137 - 2,672 * 1,491 = -0,848$$

$$v = a + bx = -0,848 + 2,672(x)$$

$$R^2 = \frac{(\sum PCx)^2}{(\sum CCx)(\sum CCy)} = \frac{(1.515,212)^2}{(11.668,44)(215,212)} = 0,915$$

$$r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,915} = 0,956$$

$$S^2_{xy} = \frac{(\sum CCy) - \frac{(\sum PCxy)^2}{\sum CCx}}{\sum w - 2} = \frac{(215,073) - \frac{(1.515,212)^2}{11.668,44}}{300 - 2} = 0,061$$

$$S_{yx} = \sqrt{S^2_{xy}} = \sqrt{0,061} = 0,247$$

$$S_{yx} (\%) = \frac{S_{yx}}{\bar{y}} 100 = \frac{0,247}{1,573} = 15,755$$

**Tabla 2.** Volumen de *Ochroma pyramidale* de una entrada considerando el  $D_{130}$  y ecuación obtenida por método matemáticos logarítmica de es  $\log v = \log a + b(\log x)$  donde  $\log v = -0,848 + 2,672(\log x)$ , El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

$D_{130}$ (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )	$D_{130}$ (cm)	Volumen (m <sup>3</sup> )
20	0,425	36	2,044
21	0,484	37	2,199
22	0,548	38	2,361
23	0,617	39	2,531
24	0,692	40	2,708
25	0,771	41	2,893
26	0,857	42	3,085
27	0,948	43	3,286
28	1,044	44	3,494
29	1,147	45	3,710
30	1,256	46	3,934
31	1,371	47	4,167
32	1,492	48	4,408
33	1,620	49	4,658
34	1,754	50	4,916
35	1,896	51	5,184

## 2. Tablas de volumen de doble entrada

La información numérica generada por las ecuaciones utilizadas para la elaboración de tablas de volumen de doble entrada de *Ochroma pyramidale* y los respectivos coeficientes de precisión se detallan a continuación.

En el Cuadro 8, se muestra que la ecuación aritmética es la más precisa que la logarítmica, el error Standard es menor que el índice de ajuste, con un coeficiente de correlación de uno.

**Cuadro 8.** Estadística y coeficientes de precisión para las ecuaciones empleadas en la elaboración de tablas de volumen de doble entrada para *Ochroma pyramidale*, por métodos matemáticos en función del diámetro y la altura comercial, El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

Formulas empleada	$R^2$	$r$	$S_{xy}$	$S_{xy}\%$	$IA - S_{xy}$
$v = a + bx$					
$v = 0,00000000000000164 + 0,0078540(x)$	1	1	0,0000000020	0,0000012	0,000000020
$\log v = \log a + b \log d + c \log h$					
$\log v = -1,10490 + 2 \log d + 0,9999 \log h$	0,646	0,804	0,034	2,143	0,107

$R^2$  = coeficientes de determinación

$r$  = coeficientes de correlación

$S_{yxz} (S)$  = error Standard de estimación

$S\%$  = error Standard de porcentaje

$IA$  = índice de ajuste

$v$  = volumen en metros cúbicos

$d$  =  $D_{130}$  en centímetros

$h$  = altura comercial en metros



**Cuadro 9.** Cálculo de las constantes de la ecuación aritmética;  $v = a + b(x)$  donde  $x = \left(D_{130} \frac{h}{100}\right)$ , para la elaboración de las tablas de volumen de doble entrada de ***Ochroma Pyramidale***, por métodos matemáticos y las pruebas de precisión. El Vergel, Prov. de los Ríos, 2012.

No. Árbol	$w$	$D_{130}$ ( $x$ )	$h$	Volumen ( $y$ )	$x^2$	$x = \left(D^2 \frac{h}{100}\right) - wx$	$wxy$	$wx^2$	$wy^2$
1	1	41,38	23,670	3,183	1.712,330	405,308	1.290,213	164.274,606	10,133
2	1	34,70	18,460	1,745	1.203,800	222,221	387,847	49.382,139	3,046
3	1	41,38	25,960	3,491	1.712,330	444,520	1.551,937	197.598,341	12,189
4	1	38,20	26,540	3,041	1.459,030	387,225	1.177,655	149.943,392	9,249
5	1	41,38	23,280	3,131	1.712,330	398,630	1.248,047	158.905,844	9,802
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
295	1	18,53	11,160	0,301	343,200	38,301	11,522	1.466,969	0,090
296	1	27,53	19,436	1,157	758,110	147,346	170,518	21.710,945	1,339
297	1	22,89	13,711	0,564	523,790	71,817	40,508	5.157,679	0,318
298	1	24,86	16,345	0,793	618,020	101,015	80,143	10.204,095	0,629
299	1	28,74	13,468	0,874	826,180	111,270	97,241	12.381,057	0,764
300	1	25,27	16,877	0,847	638,770	107,804	91,278	11.621,790	0,717
<b>Σ</b>	<b>300</b>	<b>9.475,124</b>	<b>5.542,156</b>	<b>472,026</b>	<b>310.928,353</b>	<b>60.100,135</b>	<b>121.946,736</b>	<b>15.526.704,409</b>	<b>957,770</b>
<b>media</b>				<b>1,573</b>		<b>200,334</b>			

### Términos de corrección

$$\frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = \frac{(60100,135)^2}{300} = 12040087,55$$

$$\frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = \frac{(472,026)^2}{300} = 742,697$$

$$\frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = \frac{(60100,135)(472,026)}{300} = 95777,57069$$

### Suma de cuadrados y productos corregidos

$$\sum CCx = \sum wx^2 - \frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = 15.526.704,41 - \frac{60100,135^2}{300} = 3.436.616,86$$

$$\sum CCy = \sum wy^2 - \frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = 957,770 - \frac{472,026^2}{300} = 215,073$$

$$\sum PCxy = \sum wxy - \frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = 121.946,74 - \frac{(60.100,135)(472,026)}{300} = 27.383,89$$

### Ecuaciones

$$b = \frac{\sum PCxy}{\sum CCx} = \frac{27.383,89}{3.436.616,86} = 0,0078540$$

$$a = \bar{y} - b\bar{x} = 1,573 - 0,0078540 * 200,334 = 0,0000000000000164$$

$$v = a + bx = 0,0000000000000164 + 0,0078540(x)$$

$$R^2 = \frac{(\sum PCxy)^2}{(\sum CCx)(\sum CCy)} = \frac{(27.383,89)^2}{(3.436.616,86)(215,073)} = 0,999$$

$$r = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,999} = 1$$

$$S^2_{xy} = \frac{(\sum CCy) - \frac{(\sum PCxy)^2}{\sum CCx}}{\sum w - 2} = \frac{(215,073) - \frac{(472,026)^2}{3.436.616,86}}{300 - 2} = 0,0000000000000000381$$

$$Syx = \sqrt{s^2_{xy}} = \sqrt{0,0000000000000000000381} = 0,000000020$$

$$S_{yx} (\%) = \frac{s_{yx}}{\bar{y}} * 100 = \frac{0,000000020}{1,573} = 0,0000012\%$$

**Tabla 3.** Tablas de volumen de *Ochroma pyramidale* considerando el  $D_{130}$  , la altura comercial y la ecuación obtenida por métodos matemáticos  $y = a + b(x) x = (D^2 \frac{h}{100})$ ,  $y = 0,00000000000000164 + 0,00785 \left(122(\frac{8}{100})\right)$ . El Vergel, Prov. De los Ríos, 2012.

$D_{130}$ (cm)	ALTURAS																		
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
14	0,1232																		
15	0,1414	0,1590																	
16	0,1608	0,1810																	
17	0,1816	0,2043	0,2270																
18	0,2036	0,2290	0,2545																
19	0,2268	0,2552	0,2835																
20	0,2513	0,2827	0,3142	0,3456															
21	0,2771	0,3117	0,3464	0,3810	0,4156														
22	0,3041	0,3421	0,3801	0,4181	0,4562	0,4942													
23	0,3324	0,3739	0,4155	0,4570	0,4986	0,5401													
24	0,3619	0,4072	0,4524	0,4976	0,5429	0,5881	0,6333												
25	0,3927	0,4418	0,4909	0,5400	0,5891	0,6381	0,6872	0,7363											
26	0,4247	0,4778	0,5309	0,5840	0,6371	0,6902	0,7433	0,7964	0,8495	0,9026									
27	0,4580	0,5153	0,5726	0,6298	0,6871	0,7443	0,8016	0,8588	0,9161	0,9733	1,0306								
28	0,4926	0,5542	0,6158	0,6773	0,7389	0,8005	0,8621	0,9236	0,9852	1,0468	1,1084	1,1699							
29	0,5284	0,5945	0,6605	0,7266	0,7926	0,8587	0,9247	0,9908	1,0568	1,1229	1,1889	1,2550							
30	0,5655	0,6362	0,7069	0,7775	0,8482	0,9189	0,9896	1,0603	1,1310	1,2017	1,2723	1,3430							
31	0,6038	0,6793	0,7548	0,8302	0,9057	0,9812	1,0567	1,1322	1,2076	1,2831	1,3586	1,4341							
32	0,6434	0,7238	0,8042	0,8847	0,9651	1,0455	1,1259	1,2064	1,2868	1,3672	1,4476	1,5281							
33	0,6842	0,7698	0,8553	0,9408	1,0264	1,1119	1,1974	1,2830	1,3685	1,4540	1,5395	1,6251							
34	0,7263	0,8171	0,9079	0,9987	1,0895	1,1803	1,2711	1,3619	1,4527	1,5435	1,6343	1,7251							
35	0,7697	0,8659	0,9621	1,0583	1,1545	1,2507	1,3470	1,4432	1,5394	1,6356	1,7318	1,8280	1,9242						

$D_{130}$ (cm)	ALTURAS																		
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
36	0,8143	0,9161	1,0179	1,1197	1,2215	1,3232	1,4250	1,5268	1,6286	1,7304	1,8322	1,9340	2,0358	2,1375					
37	0,8602	0,9677	1,0752	1,1827	1,2903	1,3978	1,5053	1,6128	1,7203	1,8279	1,9354	2,0429	2,1504	2,2579					
38	0,9073	1,0207	1,1341	1,2475	1,3609	1,4744	1,5878	1,7012	1,8146	1,9280	2,0414	2,1548	2,2682	2,3816					
39	0,9557	1,0751	1,1946	1,3141	1,4335	1,5530	1,6724	1,7919	1,9113	2,0308	2,1503	2,2697	2,3892	2,5086					
40	1,0053	1,1310	1,2566	1,3823	1,5080	1,6336	1,7593	1,8850	2,0106	2,1363	2,2620	2,3876	2,5133	2,6389	2,7646				
41	1,0562	1,1882	1,3203	1,4523	1,5843	1,7163	1,8484	1,9804	2,1124	2,2444	2,3765	2,5085	2,6405	2,7725	2,9046	3,0366			
42	1,1084	1,2469	1,3854	1,5240	1,6625	1,8011	1,9396	2,0782	2,2167	2,3553	2,4938	2,6323	2,7709	2,9094	3,0480	3,1865			
43	1,1618	1,3070	1,4522	1,5974	1,7426	1,8879	2,0331	2,1783	2,3235	2,4687	2,6140	2,7592	2,9044	3,0496	3,1949	3,3401			
44	1,2164	1,3685	1,5205	1,6726	1,8246	1,9767	2,1287	2,2808	2,4329	2,5849	2,7370	2,8890	3,0411	3,1931	3,3452	3,4972	3,6493		
45	1,2723	1,4314	1,5904	1,7495	1,9085	2,0676	2,2266	2,3857	2,5447	2,7037	2,8628	3,0218	3,1809	3,3399	3,4990	3,6580	3,8170		
46	1,3295	1,4957	1,6619	1,8281	1,9943	2,1605	2,3267	2,4929	2,6591	2,8252	2,9914	3,1576	3,3238	3,4900	3,6562	3,8224	3,9886		
47	1,3880	1,5615	1,7349	1,9084	2,0819	2,2554	2,4289	2,6024	2,7759	2,9494	3,1229	3,2964	3,4699	3,6434	3,8169	3,9904	4,1639	4,3374	
48	1,4476	1,6286	1,8096	1,9905	2,1715	2,3524	2,5334	2,7143	2,8953	3,0763	3,2572	3,4382	3,6191	3,8001	3,9810	4,1620	4,3429	4,5239	
49	1,5086	1,6972	1,8857	2,0743	2,2629	2,4515	2,6400	2,8286	3,0172	3,2058	3,3943	3,5829	3,7715	3,9601	4,1486	4,3372	4,5258	4,7144	
50	1,5708	1,7672	1,9635	2,1599	2,3562	2,5525	2,7489	2,9452	3,1416	3,3379	3,5343	3,7306	3,9270	4,1233	4,3197	4,5160	4,7124	4,9087	5,1051

**Cuadro 10.** Cálculo de las constantes de la ecuación logarítmica.  $\log v = \log a + b \log D + c \log h$ ; Para la elaboración de las tablas de volumen de doble entrada ***Ochroma pyramidale***, por métodos matemáticos y las pruebas de precisión. El Vergel, Prov. de los Ríos, 2012.

No. Árbol	$D_{130}$ cm (x)	$h$	$vol\ m^3$ (y)	$w$	$\log D$ (wx)	$\log h$ (wz)	$\log v$ (wy)	$wx^2$	$wz^2$	$wy^2$	$wxz$	$wxy$	$wyz$
1	41,38	23,67	3,183	1	1,617	1,374	3,503	2,614	1,888	12,270	2,222	5,663	4,814
2	34,70	18,46	1,745	1	1,540	1,266	3,242	2,372	1,603	10,510	1,950	4,993	4,105
3	41,38	25,96	3,491	1	1,617	1,414	3,543	2,614	2,000	12,553	2,287	5,728	5,011
4	38,20	26,54	3,041	1	1,582	1,424	3,483	2,503	2,027	12,132	2,253	5,510	4,960
5	41,38	23,28	3,131	1	1,617	1,367	3,496	2,614	1,869	12,220	2,210	5,652	4,779
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
290	36,54	22,19	2,327	1	1,563	1,346	3,367	2,442	1,812	11,336	2,104	5,262	4,532
291	26,74	16,63	0,934	1	1,427	1,221	2,970	2,037	1,490	8,822	1,742	4,239	3,626
292	36,29	18,43	1,906	1	1,560	1,266	3,280	2,433	1,602	10,760	1,974	5,116	4,152
293	25,78	16,57	0,865	1	1,411	1,219	2,937	1,992	1,487	8,627	1,721	4,145	3,581
294	31,51	19,15	1,494	1	1,498	1,282	3,174	2,245	1,644	10,076	1,921	4,757	4,070
295	18,53	11,16	0,301	1	1,268	1,048	2,478	1,607	1,098	6,142	1,328	3,142	2,596
296	27,53	19,44	1,157	1	1,440	1,289	3,063	2,073	1,661	9,385	1,855	4,411	3,948
297	22,89	13,71	0,564	1	1,360	1,137	2,751	1,848	1,293	7,570	1,546	3,741	3,128
298	24,86	16,35	0,793	1	1,396	1,213	2,899	1,947	1,472	8,407	1,693	4,046	3,518
299	28,74	13,47	0,874	1	1,459	1,129	2,941	2,127	1,275	8,652	1,647	4,290	3,322
300	25,27	16,88	0,847	1	1,403	1,227	2,928	1,967	1,506	8,572	1,721	4,107	3,593
<b>Σ</b>	<b>9.475,124</b>	<b>5.542,156</b>	<b>472,026</b>	<b>300</b>	<b>447,356</b>	<b>377,931</b>	<b>941,170</b>	<b>669,245</b>	<b>477,942</b>	<b>2.968,915</b>	<b>565,013</b>	<b>1.409,216</b>	<b>1.190,390</b>
<b>Media</b>			<b>1,573</b>										

### Términos de corrección

$$\frac{(\sum \log wx)^2}{\sum w} = \frac{(447,356)^2}{300} = 667,09$$

$$\frac{(\sum \log wy)^2}{\sum w} = \frac{(941,170)^2}{300} = 2.952,669$$

$$\frac{(\sum \log wz)^2}{\sum w} = \frac{(377,931)^2}{300} = 476,105$$

$$\frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = \frac{(447,356)(941,170)}{300} = 95.777,57069$$

$$\frac{(\sum wx)(\sum wz)}{\sum w} = \frac{(447,356)(377,931)}{300} = 563,565$$

$$\frac{(\sum wy)(\sum wz)}{\sum w} = \frac{(941,170)(377,931)}{300} = 1185,656$$

### Suma de cuadrados y productos corregidos

$$\sum CCx = \sum wx^2 - \frac{(\sum wx)^2}{\sum w} = 669,245 - \frac{447,356^2}{300} = 2,154$$

$$\sum CCy = \sum wy^2 - \frac{(\sum wy)^2}{\sum w} = 2968,915 - \frac{941,170^2}{300} = 0,863$$

$$\sum CCz = \sum wz^2 - \frac{(\sum wz)^2}{\sum w} = 447,942 - \frac{377,931^2}{300} = 1,837$$

$$\sum PCxy = \sum wxy - \frac{(\sum wx)(\sum wy)}{\sum w} = 1409,216 - \frac{(447,356)(941,170)}{300} = 5,756$$

$$\sum PCxz = \sum wxz - \frac{(\sum wx)(\sum wz)}{\sum w} = 565,013 - \frac{(447,356)(376,004)}{300} = 1,448$$

$$\sum PCyz = \sum wyz - \frac{(\sum wy)(\sum wz)}{\sum w} = 1.190,390 - \frac{(941,170)(377,931)}{300} = 4,733$$

## Ecuaciones

$$C = \frac{\sum PCyz - \frac{(\sum PCxz)(\sum PCxy)}{\sum CCx}}{\sum CCz - \frac{(\sum PCxz)^2}{\sum CCx}} = \frac{4,733 - \frac{(1,448)(5,756)}{2,154}}{1,837 - \frac{(1,448)^2}{2,154}} = 0,583$$

$$b = \frac{\sum PCxy - C(\sum PCxz)}{\sum CCx} = \frac{5,756 - 0,583(1,448)}{2,154} = 2,274$$

$$a = \frac{\sum wy - C(\sum wz) - b(\sum wx)}{\sum w} = \frac{941,170 - 0,583(377,931) - 2,274(447,356)}{\sum w} = 0,988$$

$$\log y = \log a + b \log x + C + \log h$$

$$\log y = 0,988 + 2,274(\log x) + 0,583 + \log h$$

$$R^2 = \frac{b(\sum PCxy) - C(\sum PCyz)}{(\sum CCx)} = \frac{2,274(5,756) - 0,583(4,733)}{(2,154)} = 0,646$$

$$r_{xyz} = \sqrt{R^2} = \sqrt{0,646} = 0,804$$

$$S_{xyz} = \sqrt{\frac{\sum CCy - b(\sum PCxy) - C(\sum PCyz)}{\sum w - 3}} = \sqrt{\frac{0,863 - 2,274(5,756) - 0,583(4,733)}{300 - 3}} = 0,033$$

$$s_{yxz}\% = \frac{S_{xyz}}{\bar{y}} 100 = \frac{0,033}{1,573} 100 = 2,143\%$$

$$IA = \frac{S_{xyz} \text{ ant } \log \bar{v}}{0,434294} = \frac{0,033(1,376)}{0,434294} = 0,11$$



**Tabla 4.** Tablas de volumen de *Ochroma pyramidale* considerando el  $D_{130}$  , la altura comercial y la ecuación obtenida por métodos matemáticos  $\log y = \log a + b(\log D) + c(\log h)$ ,  $\log y = -1,104909103 + 2,00(\log D) + 0,999(\log h)$ . El Vergel, Prov. De los Ríos, 2012.

$D_{130}$ (cm)	ALTURAS																		
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
14	0,123																		
15	0,141																		
16	0,161	0,181																	
17	0,182	0,204	0,227																
18	0,204	0,229	0,254																
19	0,227	0,255	0,284																
20	0,251	0,283	0,314	0,346															
21	0,277	0,312	0,346	0,381	0,416														
22	0,304	0,342	0,380	0,418	0,456	0,494													
23	0,332	0,374	0,415	0,457	0,499	0,540													
24	0,362	0,407	0,452	0,498	0,543	0,588													
25	0,393	0,442	0,491	0,540	0,589	0,638	0,687												
26	0,425	0,478	0,531	0,584	0,637	0,690	0,743	0,796											
27	0,458	0,515	0,573	0,630	0,687	0,744	0,802	0,859											
28	0,493	0,554	0,616	0,677	0,739	0,800	0,862	0,924	0,985	1,047									
29	0,528	0,594	0,661	0,727	0,793	0,859	0,925	0,991	1,057	1,123	1,189	1,255							
30	0,565	0,636	0,707	0,778	0,848	0,919	0,990	1,060	1,131	1,202	1,272	1,343							
31	0,604	0,679	0,755	0,830	0,906	0,981	1,057	1,132	1,208	1,283	1,359	1,434							
32	0,643	0,724	0,804	0,885	0,965	1,046	1,126	1,206	1,287	1,367	1,448	1,528							
33	0,684	0,770	0,855	0,941	1,026	1,112	1,197	1,283	1,368	1,454	1,540	1,625							
34	0,726	0,817	0,908	0,999	1,090	1,180	1,271	1,362	1,453	1,543	1,634	1,725							
35	0,770	0,866	0,962	1,058	1,155	1,251	1,347	1,443	1,539	1,636	1,732	1,828	1,924						

$D_{130}$ (cm)	ALTURAS																		
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
36	0,814	0,916	1,018	1,120	1,221	1,323	1,425	1,527	1,629	1,730	1,832	1,934	2,036	2,138					
37	0,860	0,968	1,075	1,183	1,290	1,398	1,505	1,613	1,720	1,828	1,935	2,043	2,150	2,258					
38	0,907	1,021	1,134	1,248	1,361	1,474	1,588	1,701	1,815	1,928	2,041	2,155	2,268	2,382					
39	0,956	1,075	1,195	1,314	1,434	1,553	1,672	1,792	1,911	2,031	2,150	2,270	2,389	2,509					
40	1,005	1,131	1,257	1,382	1,508	1,634	1,759	1,885	2,011	2,136	2,262	2,388	2,513	2,639	2,765				
41	1,056	1,188	1,320	1,452	1,584	1,716	1,848	1,980	2,112	2,244	2,376	2,508	2,641	2,773	2,905	3,037			
42	1,108	1,247	1,385	1,524	1,663	1,801	1,940	2,078	2,217	2,355	2,494	2,632	2,771	2,909	3,048	3,187			
43	1,162	1,307	1,452	1,597	1,743	1,888	2,033	2,178	2,324	2,469	2,614	2,759	2,904	3,050	3,195	3,340			
44	1,216	1,368	1,521	1,673	1,825	1,977	2,129	2,281	2,433	2,585	2,737	2,889	3,041	3,193	3,345	3,497	3,649		
45	1,272	1,431	1,590	1,749	1,909	2,068	2,227	2,386	2,545	2,704	2,863	3,022	3,181	3,340	3,499	3,658	3,817		
46	1,330	1,496	1,662	1,828	1,994	2,160	2,327	2,493	2,659	2,825	2,991	3,158	3,324	3,490	3,656	3,822	3,989		
47	1,388	1,561	1,735	1,908	2,082	2,255	2,429	2,602	2,776	2,949	3,123	3,296	3,470	3,643	3,817	3,990	4,164	4,337	
48	1,448	1,629	1,810	1,991	2,171	2,352	2,533	2,714	2,895	3,076	3,257	3,438	3,619	3,800	3,981	4,162	4,343	4,524	
49	1,509	1,697	1,886	2,074	2,263	2,451	2,640	2,829	3,017	3,206	3,394	3,583	3,771	3,960	4,149	4,337	4,526	4,714	
50	1,571	1,767	1,964	2,160	2,356	2,553	2,749	2,945	3,142	3,338	3,534	3,731	3,927	4,123	4,320	4,516	4,712	4,909	5,105

#### D. DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE (%) DE APROVECHAMIENTO EN EL ASERRADO

El porcentaje de aprovechamiento a partir de los árboles en pie y trozas es el 73%, dentro del aprovechamiento el mayor número de árboles se presentan en las clases diamétricas de 20 – 24,99 y 25 – 29,99 (Cuadro 11).

**Cuadro 11.** Cuadro comparativo del aprovechamiento de árboles en pie vs trozas de *Ochroma pyramidale*. El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

Clase Diamétrica	Frecuencia	Volumen Comercial	Volumen del Cilindro	Promedio (%)
20 - 24,99	33	0,518	0,625	83%
25 - 29,99	95	0,813	1,067	76%
30 - 34,99	84	1,147	1,528	75%
35 - 39,99	53	1,507	2,210	68%
40 - 44,99	20	2,116	3,094	68%
45 - 49,99	8	2,937	4,180	70%
50 - 59,9	2	2,137	3,824	56%
<b>N</b>	<b>300</b>			
<b>Promedios</b>				<b>73%</b>

El aprovechamiento en el aserrado se presentó de acuerdo a la clase diamétrica y distribuida por los diferentes largos utilizados en la industria balsera.

**Cuadro 12.** Rendimiento de madera aserrada en base a las clases diamétricas de las trozas vs volumen ( $m^3$ ) de los listones, largo 1 (120 – 126 cm). *Ochroma pyramidale*. El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

Rangos	Volumen (trozas)	Volumen (listones)	Porcentaje %
15 - 19,99	0,036	0,015	42,13
20 - 24,99	0,048	0,021	43,29
25 - 29,99	0,074	0,031	41,59
30 - 34,99	0,112	0,044	39,32

**Cuadro 13.** Cuadro comparativo en base al diámetro de la trozas vs volumen ( $m^3$ ) de los listones, largo 2 (126 – 139 cm). *Ochroma pyramidale*, El Vergel, Prov. de Los Ríos, 2012.

Rangos	Volumen (trozas)	Volumen (listones)	Porcentaje %
15 - 19,99	0,034	0,014	38,88
20 - 24,99	0,053	0,02	38,51
25 - 29,99	0,076	0,03	39,07
30 - 34,99	0,106	0,041	38,14
35 - 39,99	0,137	0,053	38,44
40 - 44,99	0,183	0,073	39,77

**Cuadro 14.** Cuadro comparativo en base al diámetro de la trozas vs volumen ( $m^3$ ) de los listones, largo 3 (140 – 159 cm). *Ochroma pyramidale*, El Vergel Prov. de Los Ríos, 2012.

Rangos	Volumen (trozas)	Volumen (listones)	Porcentaje %
15 - 19,99	0,042	0,016	38,14
20 - 24,99	0,06	0,022	37,41
25 - 29,99	0,089	0,04	42,92
30 - 34,99	0,123	0,046	37,97

**Cuadro 15.** Cuadro comparativo en base al diámetro de la trozas vs volumen ( $m^3$ ) de los listones, largo 4 (160 – 174 cm). *Ochroma pyramidale*, el vergel provincia de los ríos, 2012.

Rangos	Volumen (trozas)	Volumen (listones)	Porcentaje %
10 - 14,99	0,031	0,009	28,55
15 - 19,99	0,042	0,017	40,67
20 - 24,99	0,066	0,025	38,04
25 - 29,99	0,096	0,038	40,06
30 - 34,99	0,132	0,054	41,00
35 - 39,99	0,171	0,065	38,05
40 - 44,99	0,216	0,091	42,13
45 - 49,99	0,278	0,102	37,17

**Cuadro 16.** Cuadro comparativo en base al diámetro de la trozas vs volumen ( $m^3$ ) de los listones, largo 5 (175 – 189 cm). *Ochroma pyramidale*, El Vergel Prov. de los Ríos, 2012.

Rangos	Volumen (trozas)	Volumen (listones)	Porcentaje %
15 - 19,99	0,051	0,017	33,85
20 - 24,99	0,073	0,033	44,00
25 - 29,99	0,107	0,050	46,82
30 - 34,99	0,149	0,062	41,74
35 - 39,99	0,203	0,074	36,61
40 - 44,99	0,268	0,135	50,29
45 - 49,99	0,306	0,109	35,58

**Cuadro 17.** Cuadro comparativo en base al diámetro de la trozas vs volumen ( $m^3$ ) de los listones, largo 6 (190 – 200 cm). *Ochroma pyramidale*, El Vergel Prov. de Los Ríos, 2012.

Rangos	Volumen (trozas)	Volumen (listones)	Porcentaje %
10 - 14,99	0,035	0,014	37,27
15 - 19,99	0,043	0,017	40,26
20 - 24,99	0,07	0,028	40,12
25 - 29,99	0,105	0,044	41,74
30 - 34,99	0,146	0,061	41,28
35 - 39,99	0,199	0,081	40,33
40 - 44,99	0,259	0,104	40,56
45 - 49,99	0,334	0,128	38,46
50 >	0,27	0,130	30,49

## V. DISCUSIÓN

El coeficiente de correlación de 0.69 para la relación existente entre el diámetro ( $D_{130}$ ) y la altura comercial es relativamente representativo, tomando en cuenta que la balsa tiene una diferente forma de aprovechamiento, que difiere a otras especies de objetivo comercial.

Según los resultados que se presentan en el Cuadro 2, el factor volumétrico de forma, es de 0.73. A medida que aumenta el diámetro de los árboles se produce un decremento del factor de forma ( $f$ ), como por ejemplo para un  $D_{130}$  promedio de 33,99 el factor de forma 0.763 tal como se indica en el Cuadro 2.

En la elaboración de tablas de volumen de una entrada elaboradas por el método matemático, se pueden aplicar las formulas aritmética  $v = a + bx$  y logarítmica  $\log v = \log a + b \log x$ , de acuerdo a los que se muestra en el Cuadro 3. Las dos ecuaciones son válidas por presentar coeficientes de correlación ( $r$ ) próximos a 1 y un índice de ajuste de 1, ambas resultan ser precisas.

En las tablas de volumen de doble entrada elaboradas por el método matemático, la ecuación aritmética presenta un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 1 y un índice de ajuste de 0,000000017; en comparación que la fórmula logarítmica que tiene un coeficiente de determinación de 0,646 y un índice de ajuste de 0,107; por lo tanto la fórmula aritmética es la más precisa de esta tabla, esto no es igual a lo que indica Mora y Cevallos, (1988).

De acuerdo al índice de aprovechamiento, en la labor de trozado se pierde alrededor de 24% de la madera, como parte del proceso de tumba se determinó que adicionalmente se puede llegar a perder hasta un 35% del volumen aprovechable, dado que la balsa tiene problemas relacionados con enfermedades y ataques de insectos que malogran la calidad de la madera. Lo interesante de los resultados obtenidos es que el aprovechamiento ideal está relacionado directamente con el diámetro.

En el aserrado, la situación Industrial de la balsa es uno de los sectores que menos ha innovado desde su creación hace 50 años, se utilizan cierras circulares de 36 pulgadas con un espesor de 7 milímetros de ancho promedio, lo cual genera una gran cantidad de desperdicios, como es evidente en dependencia de la clase de aserrío el desperdicio es inversamente proporcional a la clase diamétrica, en la de mayor

diámetro hay menos desperdicio, tal como se observó en el caso de los Cuadros 14, 15 y 16 en la que el aprovechamiento está en el rango diamétrico 40 – 44,99 y los diámetros menores se puede llegar a tener más de 50% de desperdicios o menor porcentaje de aprovechamiento.

De acuerdo a la experiencia en el campo balsero estos rangos están dentro de la realidad y la tendencia de aprovechamiento es más común en rangos superiores y comprobable en el análisis de las clases diamétricas vs volumen de madera aserrada.

## VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En base a resultados obtenidos en la presente investigación, se presentan las siguientes conclusiones y recomendaciones.

### A. CONCLUSIONES

- Las tablas de volumen de dobles entradas son más precisa que la de una entrada por lo tanto se acepta la hipótesis “Es posible estimar el volumen aprovechable de árboles de balsa en pie mediante tablas de volumen con un error aceptable”.
- Para la elaboración de tablas de volumen de doble entrada por el método matemático, la ecuación aritmética  $v = a + b * D^2 \left( \frac{1}{100} \right)$  resulta ser más precisa, existe una relación lineal entre  $D_{130}$  y las alturas comerciales de los árboles de *Ochroma pyramidale*, no obstante esta especie tiene muchos problemas por sus características fenotípicas.
- A mayor diámetro existe mayor rendimiento en aprovechamiento, generando mayor cantidad de listones con mayor espesor y que va correlacionado a largo por lo tanto se acepta la hipótesis “Existe una o varias clases diamétricas donde el aprovechamiento de madera aserrada es mayor”.
- Para la elaboración de tablas de volumen de una entrada por método matemático, las dos fórmulas empleadas (aritmética y logarítmica) tienen un alto grado de precisión.
- El factor volumétrico de forma ( $f$ ), para los árboles de *Ochroma pyramidale*, es variable de acuerdo a la clase diamétrica, a mayor diámetro el factor de forma tiende a disminuir.
- Es imprescindible contar con plantaciones que tengan una edad comprendida entre los 4,5 años y los 5,5 años, para garantizar un promedio relativamente homogéneo de individuos lo cual reporta trozas con diámetros que fluctúen entre 30 y 50 cm.



## B. RECOMENDACIONES

- En la elaboración de tablas de volúmenes de una entrada por el método matemático, es recomendable emplear ambas ecuaciones (aritmética y logarítmica).
- Para la elaboración de tablas de volúmenes de doble entradas por métodos matemáticos, se recomienda emplear la ecuación aritmética

$$v = a + b \left( D^2 \left( \frac{h}{100} \right) \right).$$

- Para la generación de información más precisa en cuando a los rendimientos de aserrado es importante analizar diferentes edades de plantaciones, de manera que se pueda obtener datos más relevantes en cuanto al aprovechamiento.

## VII. RESUMEN

La presente investigación se realizó durante del año 2012, en la hacienda Las Cañas, provincia de Los Ríos, cantón Valencia, recinto El Vergel, a una altitud 180 msnm, con una precipitación de 1850 mm, temperatura media anual de 25,2 °C, la misma que tuvo los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar tablas de volumen para la *Ochroma pyramidale*, con el fin de contribuir a su óptimo aprovechamiento de la zona.
- Calcular los rendimientos en el aserrado de acuerdo a las clases diamétricas de *Ochroma pyramidal*.

Se talaron y midieron 300 árboles de balsa con un diámetro a 130 cm desde la base del suelo  $D_{130}$  y mayores a 14 cm, con una muestra tomada de la mayoría de clases diamétricas en mención. Con los datos obtenidos se elaboraron tablas de volúmenes de una y dos entradas, con escalas aritmética y logarítmica.

Se observó que la relación entre el diámetro a la altura del pecho ( $D_{130}$ ) y la altura comercial tiene un 69% considerado como excelente, el factor volumétrico de forma es de 0.73. El valor más aproximado al volumen real para tablas de volumen de una entrada, se obtuvo con la ecuación logarítmica y para tablas de volumen de doble entrada por el método matemático, se realizó la ecuación aritmética.

El aprovechamiento en el aserrado para los promedios (40 – 44,99) tiene un mayor rendimiento que va desde el 40 hasta el 50 por ciento distribuido el largo de los listones.

Las tablas de volumen de dobles entradas son más precisas que la de una entrada por lo tanto se acepta la hipótesis “Es posible estimar el volumen aprovechable de árboles de balsa en pie mediante tablas de volumen con un error aceptable”.

En cuanto aprovechamiento, a mayor diámetro existe mayor rendimiento, generando mayor cantidad de listones con mayor espesor y que va correlacionado a largo por lo tanto se acepta la hipótesis “Existe una o varias clases diamétricas donde el aprovechamiento de madera aserrada es mayor”.

## VIII. SUMMARY

The present research was conducted during the year 2012, at estate at Las Cañas's, province of Los Ríos Region Valencia, precinct El Vergel, at an altitude 180 m above sea level, with a rainfall of 1850 mm and an average annual temperature of 25.2 °C. the same that had the following specific objectives:

- Develop tables for *Ochroma pyramidale* volume, in order to contribute to their optimal use in the area.
- Calculate sawing yields according to diameter classes of *Ochroma pyramidale*.

For this study 300 balsa trees were felled and measured with a diameter of 130 centimeters from the ground level  $D_{130}$  and a diameter greater than 14 cm.

With the data collected were elaborated Volume Tables of one and two entries using arithmetic and logarithmic scales.

It was observed that the relationship between the diameter at breast height ( $D_{130}$ ) and the commercial height is excellent with 69%, the volume factor is 0.73. The closest value to the actual volume (size) for volume tables of one entry was obtained with the logarithmic equation; for volume tables of double entry it was obtained by mathematical method with an arithmetic equation.

The advantage in sawing for averages (40 - 44.99) has a higher throughput ranging from 40 to 50 percent distributed over the slats.

The double volume tables entries are more accurate than an entry therefore accepts the hypothesis "is possible to estimate the available volume of balsa trees standing by volume tables with an acceptable error."

A larger diameter greater performance advantage exists, generating as many ribbons with thicker and correlated long will therefore accept the hypothesis "There is one or more diameter classes where sawn timber harvesting is greater."

## IX. BIBLIOGRAFÍA

- Avery, T. 1967.** Volumes of Standing Trees. Inforest Measurements. Chapter 6. Mc. Graw – Hill Book Co. USA. 290 p.
- Betancourt, B. 1968.** Monografía de la balsa o lanero. Técnica Forestal 3. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Desarrollo y Aprovechamiento Forestales. 7 p.
- Binagorov, G. S. 1984.** Tecnología del aprovechamiento forestal. Editorial Industria Forestal. Moscú. p 201–2002
- Burneo, N. 1975.** Elaboración de tablas de volumen para el Guayacán *Tabebuia chrysantha Nicholson*. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de Loja, Ecuador, 95 p.
- Caballero, D. 1972.** Tablas y Tarifas de volúmenes. Inventario Nacional Forestal. Chapingo. S. F. F. Nota INF. No. 7: 30 p.
- Caballero, D. y Frola, P. 1976.** Análisis de un caso práctico relativo a la elaboración de tablas de volúmenes de aplicación directa a rodales. Dirección General de la Inventario Nacional Forestal. México, D.F. 53 p.
- Cañadas, L. 1983.** Agroecosistemas andinos en el Ecuador. El mapa bioclimático y ecológico del Ecuador. Banco central del Ecuador. Quito.
- Casado, M. 1997.** Tecnología de las industrias forestales. Tomo I. Serie Forestal 26. Universidad de Valladolid. Escuela Técnica Superior de Ingenierías Agrarias. 191 pp.
- Catie. 1993.** Aspectos básicos de mediciones forestales. Costa Rica.
- Collahuazo, A. 2004.** Comparación de volumen de desperdicio de madera en el proceso de aserrado, aplicando la motosierra y el uso de marco guía, en la provincia de Morona Santiago. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad Nacional de Loja, Ecuador, 90 p.

- Coronel, B. P. 2008.** Búsqueda y análisis de mercados europeos para la exportación de madera de balsa (en línea). Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/490/1/MONOGRAFIA.pdf>. Consultado diciembre de 2011.
- Chapman, H. and Meyer, W. 1949.** Forest Mensuration. McGraw Hill. USA. 522 p.
- CHÁVEZ, M. P. 1994.** Tablas de volúmenes para especies tropicales (*Sikingiasalvadorensis*, *Metopiumbrownei* y *Lysilomabahamensis*) a partir de modelos matemáticos, en la zona maya del edo. de Quintana Roo. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma de México. 45 p.
- Clutter, J.; Forston, J.; Pienarr, L.; Brister, G.; Bailey, R. 1983.** Timbermanagement, a quantitative approach. Ed. JhonWiley and Sons. New York. 333 p.
- Donald, B. y Schumacher, F. 1965.** Medición Forestal, edición español, México, 1965. Pag. 13 – 35.
- Egas, AF. 1998.** Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda. Tesis Dr. CC Forestales. Cuba, Universidad de Pinar del Río. 100 p.
- Escobar, C. 2007.** Compendio automatizado de tablas de volúmenes para árboles en México. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Estado de México. 64 p.
- Fahey, T. & Sachet, J. 1993.** Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467. Pacific Northwest Research Station. Portland, Oregon. 18 pp.
- FAO. Montes, 1980.** Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento con referencia especial a los trópicos. Vol. 1. Estimación del volumen. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Italia. Roma. 92 p.

- FAO, 1982.** Aserraderos pequeños y medianos en los países en desarrollo. Roma, Italia. 173 p.
- Ferreira O. 1990.** Manual de inventarios forestales. Siguatepeque, Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 99 p.
- Fors, A. 1965.** Maderas cubanas. Habana, Cuba: Instituto Nacional de Reforma Agrícola. 162 p.
- Francis, J. K. 1991.** *Ochroma pyramidale* Cav. Balsa. New Orleans, LA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station. 6 p.
- Freezailah, B. C. 1993.** Directrices de la OIMT para el establecimiento y la ordenación sostenibles de bosques tropicales plantados. International Tropical Timber Organization. Yokohama, Japón. 48 p. (Serie OIMT de desarrollo de políticas No 4).
- Fresard, G. 1977.** Rendimiento comparativo de tres modalidades de aserrado en Pino Insigne. Tesis Ingeniería Forestal. Universidad de Chile. 76 p
- Fronius, K. 1984.** Técnicas de aserrado y mantención. Seminario tecnología del aserrado. Universidad del Bio-Bio, Concepción. Chile.
- Fucaraccio, F. y Staffieri, G. 1999.** Desarrollo y uso de ecuaciones de volumen y tablas de volumen en la República Argentina. Facultad de Ciencias Agrícolas y Forestales. Universidad Nacional de la Plata. 29 p.
- Husch, B.; Miller, C.; Beers, T. 1982.** Forest mensuration (English). New York, N.Y. (USA). Wiley. 3. ed. , 402 p.
- González, B.; Cervantes, X.; Torres, E.; Sánchez, C. y Simba, L. 2010.** Caracterización del cultivo de balsa (*Ochroma pyramidale*) en la Provincia de Los Ríos – Ecuador (en línea). Disponible en [http://www.uteq.edu.ec/revista\\_cyt/archivos/2010/v3\\_02/articulo\\_2.pdf](http://www.uteq.edu.ec/revista_cyt/archivos/2010/v3_02/articulo_2.pdf). Consultado el 2 de mayo de 2011.

- Lema, A. 1979.** Introducción a la dosimetría. Univ. Nacional de Colombia. Departamento de Recursos Forestales. Medellín, Colombia. 191 p.
- Letouneux, CH. 1957.** Tree planting practices in tropical Asia. FAO Forestry Development Paper 11. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. 172 p.
- Lojan, L. 1981.** Curso de Dasometría (Medición de Árboles individuales). Universidad Nacional de Loja. Facultad de Ciencias Agrícolas. Loja, Ecuador. Departamento de publicaciones FCA. 86 p.
- Lorenzi, H. 1992.** Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Editora Plantarum, Nova Odessa - Brasil, 351p.
- Loestch, F.; Zohrer, P. & Haller, K. 1973.** Forest Inventory.Vol 2. Trans. B y K. F. Panzer.Munchen, BlvVerlagsgesellschaft. 469 p.
- Marshall, R.C. 1939.** Silviculture of the trees of Trinidad and Tobago, British West Indies. London: Oxford UniversityPress. 247 p.
- Melo, R. Y Ravón, H., 1989.** Análisis y diagnóstico de procesos industriales de transformación de mecánica de la madera. INFOR. Concepción. 162 p.
- Mora, L. y Cevallos, M. 1988.** Tablas de volumen de una y doble entrada de la especie *Tectona grandis*. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador, 122 p.
- Müeller D. 2000.** Aviones pequeños hechos con la balsa del Ecuador (en línea). Disponible en <http://www.hoy.com.ec/noticias-ecuador/aviones-pequenos-hechos-con-la-balsa-del-ecuador-50789-50789.html>. Consultado el 28 de marzo del 2011.
- OIMT. 1999.** Utilización industrial de nuevas especies forestales en el Perú. II Edición. Proyecto OIMT PD 37/88 (I). Organización Internacional de Maderas Tropicales. Yokohana y Lima, 240 p.

- Pinto, A.; Inoue, M.; Nogueira, A. 2004.** Conservação e vigor de sementes de pau-de-balsa (*Ochroma pyramidale*). *Acta Amazónica*, v. 34, n. 2, p. 233-236.
- Prodan, M.; Peters, R.; Cox, F. y Real, P. 1997.** *Mensura Forestal*. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) / Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, San José, Costa Rica: 586 p.
- Quiñonez C. 2002.** Tecnología para la determinación de volúmenes maderables de tres especies de pino del estado de Durango. Ficha tecnológica. INIFAP – SAGARPA. Durango. México 2 p.
- Romahn de la V. ;Ramírez, M. y Treviño, G. 1987.** *Dendrometría*. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Serie de apoyo Académico No. 26. Chapingo. México. 387 p.
- Romahn de la V.; Ramírez M. y Treviño G. 1994.** *Dendrometría*. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 345 p.
- Romero, M.; Velastegui, D y Robles M. 2011.** Informe técnico: Descripción de las cadenas productivas de madera en el Ecuador. Ministerio del Ambiente – ITTO. Quito. Ecuador. Andinagraph. 98 p.
- Sierra, R.; Cerón C., Palacios, W. y Valencia, R. 1999.** Tipos de vegetación del ecuador continental, Mapa de vegetación del ecuador continental Proyecto INEFAN/GEF BIRF Quito – Ecuador. Disponible en: [http://www.cifopecuador.org/uploads/docs/Mapa\\_tipos\\_vegetacion.jpg](http://www.cifopecuador.org/uploads/docs/Mapa_tipos_vegetacion.jpg). Consultado el 28 de marzo del 2011.
- Smith, J., 2001.** Comparación de rendimientos de trozos de Pino Insigne. Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Mayor. Santiago. Chile. 51 p.
- Streets, R. 1962.** *Exotic forest trees in the British Commonwealth*. Oxford, England: ClarendonPress. 750 p.



**Szymani, R. 1993.** Sawing technology update. International conference on woodworking technologies Ligna 1993, Hannover. Series of publications of the IWF. California, Estados Unidos. 12.1-12.11 c.

**Todoroki, C. 1995.** Log rotation effect on carriage sawing of sweep logs. New Zealand Journal of Forestry Science 25 (2): 246-255.

**Vocalia. 2007.** Interesante artículo de Aeromodelismo 2000 (en línea). Disponible en <http://www.fdacm.com/aero/artic/articulo.asp?id=28>. Consultado el 18 de marzo del 2011.

**Wengert, G. 2005.** Balsa: Lightweight wood with good strength Copyright Chartwell Communications, Inc. Vol. 77, Num. 12.

**Zúñiga, T. 1995.** Situación actual de la forestación y reforestación en el Ecuador (en línea), Consultado el 30 de abril 2011. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/007/ad102s/AD102S08.htm>

## X. ANEXOS

**Anexo 1.** Diámetro  $D_{130}$ , altura y volumen de 300 árboles de *Ochroma pyramidale*, El vergel, Prov. de los Ríos, 2012.

No. de Árbol	$D_{130}$ (cm)	Altura (m) Comercial	Volumen ( $m^3$ )
1	41,38	23,67	2,24
2	34,70	18,46	1,40
3	41,38	25,96	2,39
4	38,20	26,54	2,05
5	41,38	23,28	2,31
6	31,83	18,33	1,08
7	43,61	23,74	2,57
8	49,34	24,01	3,13
9	35,01	17,13	1,15
10	44,56	20,57	2,49
11	36,92	18,94	1,28
12	41,38	26,07	2,06
13	49,97	24,47	3,26
14	44,56	22,80	2,45
15	41,38	24,85	2,39
16	41,38	23,02	2,16
17	37,56	24,65	1,74
18	24,19	17,59	0,71
19	41,38	24,83	2,55
20	36,61	19,44	1,66
21	40,11	19,82	1,81
22	31,83	21,46	1,38
23	48,70	22,76	3,05
24	42,65	25,30	2,30
25	33,74	18,49	1,24
26	33,10	18,51	0,94
27	33,10	21,02	1,50
28	39,47	19,98	1,62
29	47,75	20,64	2,96
30	25,46	17,55	0,86
31	27,06	15,34	1,03
32	49,97	24,21	3,61
33	27,06	13,29	0,70
34	35,97	19,09	1,32
35	30,24	24,66	1,31
36	38,83	24,61	2,23
37	39,79	21,87	1,92
38	35,65	18,81	1,45
39	38,83	21,82	1,62
40	27,69	16,78	0,65
41	40,43	19,88	1,84
42	36,92	21,27	1,56
43	29,60	21,24	1,00

Continúa 80

<b>No. de Árbol</b>	<b><math>D_{130}</math> (cm)</b>	<b>Altura (m) Comercial</b>	<b>Volumen (<math>m^3</math>)</b>
44	38,20	22,43	1,62
45	29,60	22,84	1,02
46	29,28	17,43	0,80
47	31,19	19,99	1,00
48	26,10	17,03	0,72
49	29,92	20,82	0,96
50	31,51	17,78	1,09
51	29,28	17,27	0,68
52	29,60	16,59	0,76
53	35,01	21,00	1,64
54	37,88	25,97	1,82
55	28,97	18,45	0,98
56	22,92	13,31	0,41
57	24,83	16,81	0,68
58	31,19	23,86	1,19
59	29,60	23,18	1,07
60	26,74	17,07	0,69
61	26,42	15,41	0,61
62	29,92	17,14	1,07
63	28,33	18,24	0,81
64	31,83	17,49	1,04
65	31,19	20,68	1,12
66	28,01	17,84	0,89
67	29,28	21,71	1,05
68	31,51	16,00	0,83
69	20,05	10,36	0,27
70	33,42	19,82	1,21
71	28,65	18,15	0,90
72	30,24	19,36	0,95
73	30,24	16,54	0,70
74	29,28	19,43	0,94
75	32,79	16,96	0,75
76	31,19	17,48	0,87
77	30,24	22,62	1,12
78	26,10	17,39	0,81
79	35,01	19,81	1,08
80	34,38	17,86	1,28
81	26,10	17,51	0,87
82	32,47	20,40	1,23
83	28,97	16,84	0,81
84	33,42	19,35	1,13
85	36,61	18,85	1,55
86	28,97	16,52	0,82
87	22,28	13,95	0,48
88	24,83	17,86	0,81
89	34,06	17,44	0,90
90	38,20	24,69	2,00
91	28,65	16,89	0,81
92	29,60	19,73	0,95
93	28,97	17,50	0,75

<b>No. de Árbol</b>	<b><math>D_{130}</math> (cm)</b>	<b>Altura (m) Comercial</b>	<b>Volumen (<math>m^3</math>)</b>
94	40,43	25,26	2,11
95	25,15	13,04	0,39
96	26,74	19,58	0,82
97	28,65	16,65	0,87
98	30,56	16,62	0,63
99	22,60	11,58	0,42
100	31,83	22,58	1,30
101	22,28	10,37	0,29
102	37,88	19,03	1,52
103	35,01	19,34	1,20
104	35,01	18,52	1,27
105	28,97	15,18	0,66
106	30,24	18,09	1,00
107	25,15	17,31	0,65
108	28,97	13,71	0,78
109	25,46	16,68	0,68
110	20,37	12,27	0,33
111	23,55	16,17	0,47
112	23,24	11,28	0,36
113	28,65	14,96	0,80
114	23,55	15,12	0,52
115	25,78	18,03	0,74
116	41,38	23,55	1,67
117	27,06	17,75	0,75
118	35,01	21,59	1,40
119	29,92	21,45	1,02
120	31,19	19,21	1,23
121	33,42	20,56	1,39
122	28,33	16,93	0,82
123	33,10	20,40	1,24
124	35,33	22,85	1,44
125	36,61	20,32	1,59
126	33,10	18,76	1,27
127	38,20	24,47	1,50
128	50,93	16,94	2,03
129	25,46	15,27	0,63
130	27,06	18,25	0,72
131	38,20	22,67	1,76
132	32,79	19,54	1,25
133	28,97	17,53	0,65
134	34,70	17,10	1,20
135	36,92	18,33	1,14
136	31,83	15,41	1,04
137	31,19	14,87	1,00
138	22,28	10,82	0,36
139	24,83	16,57	0,72
140	31,19	15,32	0,91
141	50,93	20,60	2,24
142	28,65	18,08	1,01
143	31,83	20,74	1,25

No. de Árbol	$D_{130}$ (cm)	Altura (m) Comercial	Volumen ( $m^3$ )
144	25,46	17,88	0,76
145	41,38	20,58	1,87
146	28,65	18,50	1,01
147	23,87	13,27	0,43
148	23,55	14,53	0,50
149	37,88	22,56	1,60
150	28,65	17,88	1,10
151	29,28	16,59	0,76
152	27,37	16,63	0,64
153	34,70	20,40	1,30
154	23,24	14,52	0,48
155	28,65	18,41	0,80
156	38,20	22,70	1,54
157	34,38	20,38	1,14
158	35,01	19,03	1,42
159	24,19	17,11	0,65
160	25,46	15,86	0,64
161	35,01	20,01	1,24
162	32,47	17,82	1,02
163	25,46	15,00	0,57
164	35,33	19,27	1,14
165	25,15	18,61	0,69
166	35,01	21,86	1,64
167	26,74	17,29	0,79
168	37,24	21,50	1,43
169	44,56	12,71	1,23
170	33,74	17,76	1,34
171	46,15	23,43	2,56
172	23,87	17,36	0,85
173	31,19	17,64	1,19
174	31,83	17,31	1,11
175	28,33	17,00	0,66
176	40,11	22,47	1,54
177	28,65	20,97	1,03
178	32,79	21,82	1,05
179	32,47	19,95	0,81
180	26,10	18,36	0,86
181	19,74	10,94	0,25
182	33,10	19,93	1,04
183	31,83	19,74	1,08
184	26,74	18,94	0,69
185	29,92	16,29	0,79
186	31,83	17,27	1,03
187	31,19	17,56	1,03
188	33,74	19,29	1,09
189	28,01	17,29	0,68
190	30,56	18,58	0,89
191	29,60	18,63	1,02
192	35,01	21,52	1,41
193	35,01	20,58	1,31

<b>No. de Árbol</b>	<b><math>D_{130}</math> (cm)</b>	<b>Altura (m) Comercial</b>	<b>Volumen (<math>m^3</math>)</b>
194	25,15	13,67	0,44
195	36,92	20,89	1,59
196	34,06	17,21	1,31
197	27,69	17,03	0,62
198	23,87	17,56	0,68
199	26,10	17,46	0,79
200	23,87	15,99	0,55
201	26,10	17,93	0,68
202	34,38	16,89	1,18
203	28,65	16,70	0,73
204	35,01	22,65	1,49
205	18,14	10,23	0,25
206	25,15	13,87	0,76
207	49,02	23,86	2,85
208	34,06	18,66	1,13
209	20,69	10,94	0,31
210	30,24	19,40	1,25
211	36,29	22,64	1,79
212	21,65	12,09	0,42
213	27,06	15,26	0,71
214	30,88	19,40	1,14
215	30,56	19,27	1,23
216	35,01	22,30	1,52
217	30,88	17,44	1,19
218	33,74	17,73	1,39
219	28,97	18,57	0,94
220	31,83	19,21	1,15
221	27,69	15,74	0,81
222	39,47	20,61	1,49
223	33,42	19,29	1,47
224	34,38	16,87	1,64
225	22,92	17,19	0,58
226	28,65	21,86	0,95
227	29,60	18,32	0,84
228	28,65	17,36	0,93
229	36,61	21,97	1,54
230	42,97	19,23	2,22
231	31,19	19,19	1,07
232	40,11	23,93	2,12
233	25,46	19,05	0,82
234	24,13	13,94	0,48
235	38,20	22,87	1,78
236	28,62	19,04	1,01
237	35,01	18,27	1,13
238	24,51	18,56	0,71
239	35,01	17,48	1,33
240	31,83	19,44	1,23
241	35,97	20,77	1,58
242	28,65	18,14	0,89
243	28,65	19,40	1,00

No. de Árbol	$D_{130}$ (cm)	Altura (m) Comercial	Volumen ( $m^3$ )
244	35,65	16,26	1,23
245	35,33	19,77	1,38
246	31,83	16,25	1,11
247	35,01	20,22	1,46
248	27,06	17,26	0,87
249	30,88	16,70	0,93
250	33,74	19,85	0,87
251	33,10	17,53	1,56
252	22,92	13,78	0,37
253	27,69	18,49	1,04
254	33,10	16,55	1,44
255	33,68	18,16	1,17
256	27,98	17,53	0,85
257	26,36	17,79	0,79
258	39,22	14,60	1,36
259	23,27	13,99	0,56
260	32,28	16,25	1,35
261	34,66	15,83	1,23
262	27,15	17,58	0,82
263	30,53	20,29	1,10
264	26,71	16,63	0,75
265	27,85	18,27	0,88
266	32,82	17,37	1,44
267	22,28	12,38	0,37
268	24,00	17,94	0,73
269	32,91	17,18	1,50
270	29,89	16,54	0,84
271	28,65	18,79	0,94
272	25,34	15,64	0,73
273	19,32	13,37	0,46
274	34,38	18,61	1,38
275	30,97	21,33	1,19
276	26,83	19,40	0,85
277	29,98	19,64	1,05
278	30,75	16,94	0,87
279	30,40	19,20	0,99
280	36,92	21,78	1,48
281	24,51	13,45	0,46
282	34,70	17,16	1,20
283	17,50	10,91	0,32
284	31,83	14,90	0,96
285	46,47	17,37	2,08
286	33,36	17,93	1,41
287	25,81	15,89	0,68
288	34,06	18,23	1,34
289	30,40	18,24	0,91
290	36,54	22,19	1,42
291	26,74	16,63	0,61
292	36,29	18,43	1,44
293	25,78	16,57	0,76

<b>No. de Árbol</b>	<b><math>D_{130}</math> (cm)</b>	<b>Altura (m) Comercial</b>	<b>Volumen (<math>m^3</math>)</b>
294	31,51	19,15	0,90
295	18,53	11,16	0,29
296	27,53	19,44	0,87
297	22,89	13,71	0,53
298	24,86	16,35	0,61
299	28,74	13,47	0,83
300	25,27	16,88	0,70



**Anexo 2.** Tablas de madera aserrada de madera de balsa, El vergel, Prov. de los Ríos, 2012.

Árbol	Troza	TROZAS			RANGOS	Largo	Listón 1		Listón 2		Listón 3		Listón 4		Listón 5		Listón 6		Listón 7		Listón 8		Listón 9		Listón 10		Listón 11		Listón 12		Listón 13		Listón 14		Vol. Listones	Porc. %
		C <sub>130</sub>	D <sub>130</sub>	Volumen			A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E		
1	1	133,50	42,49	0,277	6	195,0	5,1	5,6	4,2	10,4	5,6	9,5	6,0	8,6																				0,035	12,46%	
1	2	125,00	39,79	0,239	6	192,0	7,0	7,9	4,0	7,0	5,4	9,4	4,5	8,0																				0,033	13,67%	
1	4	122,00	38,83	0,217	6	191,0	3,2	5,5	6,5	9,2	7,6	12,9	6,4	9,2	6,2	6,4	4,7	6,0	5,2	8,9	5,0	9,0	6,7	9,2										0,087	40,03%	
1	5	119,50	38,04	0,207	6	192,0	4,1	6,0	8,9	19,7	4,6	15,0	3,8	6,5	8,4	12,7	8,8	13,5																0,100	48,06%	
1	6	116,50	37,08	0,211	6	192,0	9,0	11,9	9,1	22,3	9,0	14,1	3,9	9,3																				0,091	43,06%	
1	7	117,50	37,40	0,191	6	192,0	9,4	11,0	9,3	20,4	3,8	15,1	9,1	13,0																				0,090	47,13%	
1	8	111,55	35,51	0,154	6	192,0	9,5	12,2	9,1	13,9	9,1	20,4																						0,082	53,29%	
1	9	100,40	31,96	0,135	6	190,0	9,2	17,6	9,0	9,2	9,0	12,3																						0,068	49,93%	
1	10	94,550	30,096	0,108	4	162,0	9,0	9,2	9,1	17,8	9,2	9,3																						0,054	49,58%	
1	11	91,500	29,125	0,099	4	160,0	4,4	17,9	9,4	22,2																								0,046	46,35%	
1	12	88,25	28,09	0,109	6	192,0	8,1	14,1	9,0	14,3																								0,047	42,74%	
1	13	84,500	26,897	0,069	2	127,0	6,5	16,7	9,4	14,4																								0,031	45,14%	
2	1	108,35	34,49	0,180	6	192,0	7,0	8,0	5,3	8,9	8,0	8,6	6,8	9,1	5,8	12,2																		0,058	32,56%	
2	2	102,35	32,58	0,159	6	191,0	6,3	10,1	9,0	14,2	9,0	20,1	7,8	9,1																				0,085	53,16%	
2	4	102,30	32,56	0,158	6	190,0	9,1	16,3	8,9	13,9	9,3	11,4																						0,072	45,38%	
2	5	103,20	32,85	0,162	6	191,0	10,2	18,7	9,4	10,1	9,3	10,2																						0,073	44,90%	
2	6	98,05	31,21	0,146	6	190,0	9,0	17,8	9,0	10,0	9,0	11,1																						0,067	45,68%	
2	7	93,900	29,889	0,113	4	161,0	8,9	12,1	9,0	16,2	7,8	9,2																						0,052	46,35%	
2	8	90,850	28,918	0,106	4	161,0	8,4	20,4	9,3	18,8																								0,056	52,65%	
3	1	135,50	43,13	0,283	6	193,0	8,3	8,4	8,3	9,5	5,5	9,1	5,5	8,7	8,0	11,5	6,9	8,4	5,8	8,5	8,0	8,5											0,099	35,08%		
3	2	127,500	40,585	0,167	2	129,0	9,2	15,1	9,0	15,5	9,0	15,5	9,0	24,2																				0,082	49,14%	
3	3	129,000	41,062	0,212	4	160,0	9,2	11,1	9,1	13,2	8,4	12,2	9,0	13,2	9,2	10,6	9,4	13,0																0,106	50,06%	

Siguiente

Árbol	Troza	TROZAS			RANGOS	Largo	Listón 1		Listón 2		Listón 3		Listón 4		Listón 5		Listón 6		Listón 7		Listón 8		Listón 9		Listón 10		Listón 11		Listón 12		Listón 13		Listón 14		Vol. Listones	Porc. %
		C <sub>130</sub>	D <sub>130</sub>	Volumen			A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E		
1	1	133,50	42,49	0,277	6	195,0	5,1	5,6	4,2	10,4	5,6	9,5	6,0	8,6																				0,035	12,46%	
3	4	128,250	40,823	0,210	4	160,0	9,0	12,5	8,8	17,9	8,0	9,2	9,0	9,5	9,2	14,0	3,5	8,5																0,094	44,86%	
3	5	122,550	39,009	0,194	4	162,0	8,9	14,8	8,9	12,6	9,3	12,4	8,8	14,7	8,8	14,0																		0,099	51,17%	
3	6	116,05	36,94	0,205	6	191,0	8,7	12,8	8,9	8,9	5,0	8,8	8,8	15,5	8,9	15,0																		0,096	47,00%	
3	7	110,75	35,25	0,186	6	191,0	9,4	12,4	8,8	16,4	9,2	12,6	3,0	5,6	3,9	6,5	9,0	13,0																0,102	54,91%	
3	8	110,500	35,173	0,156	4	161,0	9,5	13,9	8,8	13,2	9,1	12,8	6,7	7,3	6,7	10,7																		0,078	49,94%	
3	9	109,400	34,823	0,122	2	128,0	9,4	20,9	9,0	17,0	8,6	11,8	4,0	10,7																				0,063	51,83%	
3	10	103,15	32,83	0,162	6	191,0	8,9	25,0	7,5	16,6	7,5	9,0	4,0	4,9	4,2	13,1																		0,093	57,65%	
3	11	96,65	30,76	0,143	6	192,0	9,2	10,0	9,1	10,1	9,5	20,5																						0,073	50,92%	
4	1	120,80	38,45	0,223	6	192,0	5,3	9,3	5,8	8,9	8,3	8,7	6,4	6,8	6,4	15,4	6,4	6,5	3,4	5,2	5,0	6,5	5,2	6,8										0,085	38,08%	
4	2	119,40	38,01	0,217	6	191,0	7,8	13,1	5,7	8,7	4,7	6,6	9,7	12,3	9,7	17,4	4,5	5,7	4,4	6,4														0,100	46,25%	
4	3	116,70	37,15	0,207	6	191,0	8,7	21,9	5,0	5,3	4,7	20,5	4,7	4,9	6,0	14,3																		0,081	38,93%	
4	4	110,45	35,16	0,187	6	192,0	4,1	13,4	8,9	20,8	3,7	6,5	3,6	6,4	9,0	12,9	6,3	7,1																0,086	46,11%	
4	5	108,05	34,39	0,177	6	191,0	9,2	20,3	9,4	12,8	3,8	9,4	9,2	13,1																				0,088	49,87%	
4	6	105,45	33,57	0,170	6	192,0	6,1	9,0	4,0	9,1	8,8	11,5	5,4	6,7	9,1	9,5	9,0	9,2																0,076	44,93%	
4	7	100,40	31,96	0,154	6	192,0	9,1	13,1	9,4	18,0	4,1	9,4	9,2	13,7																				0,087	56,45%	
4	8	96,80	30,81	0,142	6	191,0	9,2	18,6	9,2	12,5	9,2	12,5																						0,077	53,78%	
4	9	92,15	29,33	0,130	6	192,0	9,2	20,2	9,1	11,8	9,3	11,5																						0,077	59,16%	
4	12	77,400	24,637	0,076	4	160,0	8,1	16,7	8,1	17,5																								0,044	58,05%	
4	13	72,550	23,093	0,054	2	128,0	9,5	14,2	7,0	16,0																								0,032	58,88%	
4	14	70,100	22,314	0,050	2	128,0	6,9	9,2	7,0	13,4																								0,020	40,22%	

Siguiente

Árbol	Troza	TROZAS			RANGOS	Largo	Listón 1		Listón 2		Listón 3		Listón 4		Listón 5		Listón 6		Listón 7		Listón 8		Listón 9		Listón 10		Listón 11		Listón 12		Listón 13		Listón 14		Vol. Listones	Porc. %
		C <sub>130</sub>	D <sub>130</sub>	Volumen			A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E	A	E		
297	1	74,7	23,778	0,071	4	160,0	8,3	13,0	9,6	12,7																								0,037	51,63%	
297	2	71,1	22,616	0,065	4	162,0	8,2	13,2	8,3	13,1																								0,035	54,01%	
297	9	58,25	18,54	0,051	6	189,7	5,7	8,7	5,6	9,1																								0,019	37,07%	
298	1	84,5	26,897	0,092	4	161,5	9,5	13,6	5,6	13,8																								0,033	36,19%	
298	2	78,5	24,987	0,079	4	161,0	4,3	8,0	5,8	8,0	5,7	11,7	4,8	12,0																				0,033	41,82%	
298	3	83,0	26,420	0,070	2	128,1	4,2	8,0	6,0	8,8	6,0	12,0																						0,020	28,79%	
298	4	80,5	25,624	0,067	2	128,1	5,9	8,0	5,8	7,6	5,6	8,5	5,4	10,4																				0,025	37,50%	
298	5	68,50	21,80	0,072	6	191,1	9,6	10,0	5,0	8,4																								0,026	36,80%	
298	6	63,00	20,05	0,060	6	191,1	6,8	10,2	4,2	10,0																								0,021	35,25%	
298	7	59,50	18,94	0,054	6	191,2	5,7	10,8	7,0	10,0																								0,025	46,62%	
298	8	57,00	18,14	0,049	6	191,1	5,4	9,4	6,0	9,4																								0,020	41,45%	
299	1	98,00	31,19	0,148	6	192,3	9,6	11,0	9,5	17,3	9,6	10,7																						0,072	48,51%	
299	7	84,75	26,98	0,110	6	192,0	6,6	13,0	8,4	12,9																								0,037	33,86%	
299	8	75,00	23,87	0,086	6	192,2	8,3	12,1	7,1	12,4																								0,036	41,92%	
300	1	91,05	28,98	0,128	6	190,0	9,4	15,6	9,8	15,5																								0,057	44,37%	
300	2	76,50	24,35	0,089	6	190,9	9,2	14,0	8,7	13,8																								0,048	53,41%	
300	3	78,8	25,083	0,078	3	158,0	7,8	13,9	7,7	12,4																								0,032	41,16%	
300	5	69,45	22,11	0,073	6	191,0	6,9	12,6	8,6	12,8																								0,038	51,29%	
300	7	71,50	22,76	0,079	6	192,0	6,5	10,3	6,8	11,3																								0,028	34,73%	
300	8	58,8	18,701	0,044	4	160,4	6,8	9,4	5,8	8,9																								0,019	41,94%	
300	9	54,8	17,427	0,038	4	159,4	5,2	10,2	6,1	9,3																								0,017	46,01%	
300	11	53,2	16,918	0,029	2	129,2	5,6	9,0	4,4	11,5																								0,013	44,79%	