

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMIA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONOMICAS**

**DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO PARA**  
***Pinus maximinoi* H. E. Moore, EN LOS DEPARTAMENTOS DE**  
**ALTA Y BAJA VERAPAZ.**

**PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE**  
**AGRONOMIA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**TESIS**

**POR**

**JORGE LUIS GIRON HERNANDEZ**

**en el acto de investidura como**

**INGENIERO AGRONOMO**

**EN**

**RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

**EN EL GRADO ACADEMICO DE**  
**LICENCIADO**

**Guatemala, noviembre de 1,998.**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**RECTOR**

***Ing. Agr. Efraín Medina Guerra***

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

<b>DECANO:</b>	<b><i>Ing. Agr. José Rolando Lara Alecio</i></b>
<b>VOCAL PRIMERO:</b>	<b><i>Ing. Agr. Juan José Castillo Mont</i></b>
<b>VOCAL SEGUNDO:</b>	<b><i>Ing. Agr. William Roberto Escobar López</i></b>
<b>VOCAL TERCERO:</b>	<b><i>Ing. Agr. Alejandro A. Hernández Figueroa</i></b>
<b>VOCAL CUARTO:</b>	<b><i>Br. Oscar Javier Guevara Pineda</i></b>
<b>VOCAL QUINTO:</b>	<b><i>Br. José Domingo Mendoza C.</i></b>
<b>SECRETARIO:</b>	<b><i>Ing. Agr. Guillermo Edilberto Méndez Beteta</i></b>

Guatemala, noviembre de 1,998

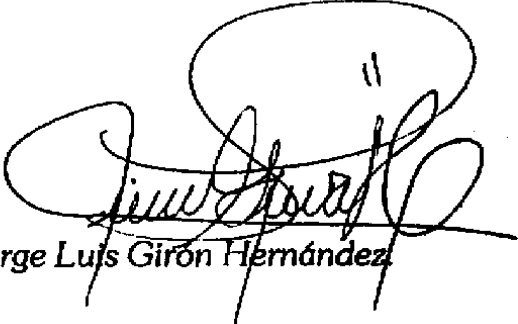
Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

De conformidad con las normas establecidas por la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración, el trabajo de tesis titulado:

**"DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO PARA  
Pinus maximilnoi H. E. Moore, EN LOS DEPARTAMENTOS DE  
ALTA Y BAJA VERAPAZ".**

Como requisito previo a optar al título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciado.

Atentamente,

  
Jorge Luis Girón Hernández

## **ACTO QUE DEDICO**

A:

*Dios, sobre todas las cosas*

**MIS PADRES:**

*Amado Leonel Girón Cabrera y  
Alba Gilda Hernández Mena de Girón, con  
agradecimiento eterno...*

**MIS HERMANOS:**

*Sandry, Lucky, Patty y Nel, con todo mi cariño...*

**MIS SOBRINAS Y SOBRINOS**

**MI CUÑADA Y CUÑADOS**

**MIS TIAS Y TIOS**

**MIS PRIMAS Y PRIMOS**

**MI FAMILIA EN GENERAL**

**MIS AMIGAS Y AMIGOS**

## **TESIS QUE DEDICO**

A:

GUATEMALA

LA CIUDAD IMPERIAL DE CARLOS V

LA FACULTAD DE AGRONOMIA

EL CENTRO UNIVERSITARIO DEL NORTE

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

MIS PADRES

MI FAMILIA

MIS AMIGOS Y AMIGAS DE AYER, DE HOY Y DE SIEMPRE

## **AGRADECIMIENTOS**

*Agradezco al Proyecto 7 "Manejo y Utilización Sostenida de Bosques Naturales de coníferas en Guatemala" del Programa Regional Forestal para Centroamérica - PROCAFOR – por el apoyo prestado para la realización de este trabajo de tesis.*

*Agradezco a mis asesores, M.Sc. Luis Fernando Pereira Rodas y M.Sc. Edwin Cano Morales, por la orientación brindada en el desarrollo de esta tesis.*

*Agradezco a la Sra. Susana Mérida, por su valiosa amistad, por su colaboración desinteresada y por el apoyo brindado durante la elaboración de esta tesis.*

*Agradezco sinceramente a mis amigos, familiares y a todas aquellas personas que fueron parte importante en esta etapa de mi formación profesional.*

## CONTENIDO

Indice de cuadros.....	ix
Indice de figuras.....	xi
Resumen.....	xii
<b>1. INTRODUCCION.....</b>	<b>1</b>
<b>2. DEFINICION DEL PROBLEMA.....</b>	<b>3</b>
<b>3. MARCO TEORICO.....</b>	<b>5</b>
<b>3.1 MARCO CONCEPTUAL.....</b>	<b>5</b>
3.1.1 Descripción de <i>P. maximinoi</i> H.E. Moore.....	5
3.1.1.1 Clasificación taxonómica.....	5
3.1.1.2 Descripción morfológica.....	5
3.1.1.3 Distribución natural en Guatemala.....	6
3.1.1.4 Características y propiedades de la madera de <i>P. maximinoi</i> H.E. Moore.....	6
3.1.1.5 Secado, preservado y usos de madera de <i>P. maximinoi</i> H.E. Moore.....	6
3.1.2 Productos derivados del bosque.....	7
3.1.3 Determinación de productos forestales primarios a extraer.....	8
3.1.4 Distribución de biomasa.....	8
3.1.5 Tablas de volumen.....	9
3.1.5.1 Selección de la muestra.....	10
3.1.5.2 Número de muestras.....	11
3.1.5.3 Medición directa del volumen de árboles apeados.....	11
3.1.5.4 Cubicación de árboles.....	12
3.1.5.5 Análisis de regresión del volumen y selección del modelo más apropiado.....	13
<b>3.2 MARCO REFERENCIAL.....</b>	<b>16</b>
3.2.1 Estudios en torno a tablas de productos forestales.....	16
3.2.2 Ubicación geográfica del área del estudio.....	17
3.2.3 Zona de vida.....	18
3.2.4 Clima.....	21
3.2.5 Geología y fisiografía.....	22
3.2.6 Edafología e hidrología.....	23

4. OBJETIVOS.....	25
5. METODOLOGIA.....	26
5.1 UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO.....	26
5.2 MUESTREO.....	26
5.3 INFORMACION OBTENIDA.....	29
5.3.1 Variables primarias.....	29
5.3.2 Variables derivadas.....	29
5.4 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION.....	33
5.5 DESPLIEGUE DE TABLAS.....	36
6. RESULTADOS Y DISCUSION.....	37
6.1 TABLA DE DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO.....	37
6.1.1 Dispersión de porcentajes reales por producto.....	37
6.1.2 Análisis de regresión.....	39
6.1.3 Selección de modelos por medio de combinaciones.....	41
6.1.4 Despliegue de tablas de distribución del volumen por productos.....	44
6.1.5 Alcances y usos de tablas de distribución del volumen por producto.....	47
6.2 TABLA DE VOLUMEN PARA ARBOLES INDIVIDUALES.....	48
6.2.1 Análisis de regresión.....	48
6.2.2 Selección del modelo.....	49
6.2.3 Despliegue de tabla de volumen.....	51
7. CONCLUSIONES.....	54
8. RECOMENDACIONES.....	55
9. BIBLIOGRAFIA.....	56
10. APENDICE.....	59



## INDICE DE CUADROS

## CONTENIDO

<b>Cuadro 1</b>	Tabla de Distribución de volumen por producto, para <i>Pinus oocarpa</i> Schiede generada en Honduras.....	<b>17</b>
<b>Cuadro 2</b>	Datos de temperatura y precipitación media mensual de la Estación Meteorológica de Cobán, A.V. período 1,986-1,995.....	<b>21</b>
<b>Cuadro 3</b>	Ubicación geográfica y altitudinal de las áreas de muestreo en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.....	<b>26</b>
<b>Cuadro 4</b>	Características de las árboles muestra de <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore.....	<b>28</b>
<b>Cuadro 5</b>	Fórmulas utilizadas para la obtención del volumen total y por producto.....	<b>31</b>
<b>Cuadro 6</b>	Resumen de análisis de varianza de la regresión de los modelos matemáticos probados para ajustar los datos de porcentaje de troza, trocillo y leña.....	<b>39</b>
<b>Cuadro 7</b>	Resumen de las pruebas a que fueron sometidos los mejores modelos matemáticos seleccionados previamente para ajustar los datos de porcentaje de troza, trocillo y leña.....	<b>40</b>
<b>Cuadro 8</b>	Combinación de modelos matemáticos con sus indicadores estadísticos, para ajustar los datos de porcentaje de troza, trocillo y leña.....	<b>41</b>
<b>Cuadro 9</b>	Modelos matemáticos que representan los porcentajes de troza, trocillo y leña, en árboles de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore, en Alta y Baja Verapaz.....	<b>43</b>
<b>Cuadro 10</b>	Tabla de distribución del volumen por producto de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore para Alta y Baja Verapaz.....	<b>45</b>
<b>Cuadro 11</b>	Comparación de porcentajes de productos obtenidos en este estudio y los obtenidos por el CEMAPIF en Honduras.....	<b>47</b>
<b>Cuadro 12</b>	Resultados del análisis estadístico de algunos de los mejores modelos, efectuado para obtener la tabla de volumen para árboles individuales de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore en Alta y Baja Verapaz.....	<b>48</b>
<b>Cuadro 13</b>	Indicadores estadísticos utilizados para seleccionar el modelo matemático definitivo para representar el volumen total con corteza.....	<b>49</b>
<b>Cuadro 14</b>	Modelo matemático elegido para la elaboración de la Tabla de Volumen para árboles individuales de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore en Alta y Baja Verapaz.....	<b>50</b>
<b>Cuadro 15</b>	Tabla de Volumen Total para árboles individuales de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore en Alta y Baja Verapaz.....	<b>52</b>

<b>Cuadro 16</b>	Comparación de volúmenes totales de árboles de un mismo tamaño obtenidos en este estudio y los obtenidos por Peters para la misma especie.....	<b>53</b>
<b>Cuadro 17 A</b>	Boleta de campo para la elaboración de tablas de productos para <i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.....	<b>60</b>
<b>Cuadro 18 A</b>	Mediciones dasométricas de cada árbol utilizado para obtener volúmenes totales y por producto.....	<b>61</b>
<b>Cuadro 19 A</b>	Programa utilizado en SAS para efectuar el análisis de regresión, para generar tablas de volumen de árboles individuales de <i>Pinus maximinoi</i> para Alta y Baja Verapaz.....	<b>67</b>
<b>Cuadro 20 A</b>	Programa utilizado en SAS para efectuar el análisis de regresión para la elaboración de tablas de productos de <i>Pinus maximinoi</i> para Alta y Baja Verapaz.....	<b>69</b>

## INDICE DE FIGURAS

## CONTENIDO

<b>Figura 1</b>	Ubicación geográfica del área de estudio, departamentos de Alta y Baja Verapaz.....	<b>19</b>
<b>Figura 2</b>	Zona de vida del área de estudio, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.....	<b>20</b>
<b>Figura 3</b>	Climadiagrama del área de estudio, correspondiente a la estación meteorológica de Cobán, A.V., durante el período 1,986-1,996.....	<b>22</b>
<b>Figura 4</b>	Localización de áreas de muestreo en la región de estudio en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.....	<b>27</b>
<b>Figura 5</b>	Procedencia de los diferentes productos y síntesis de diámetros mínimos utilizados en esta investigación.....	<b>32</b>
<b>Figura 6</b>	Diagramas de dispersión de datos reales de porcentaje de troza, de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore.....	<b>37</b>
<b>Figura 7</b>	Diagramas de dispersión de datos reales de porcentaje de trocillo, de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore.....	<b>38</b>
<b>Figura 8</b>	Diagramas de dispersión de datos reales de porcentaje de leña, de <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore.....	<b>38</b>
<b>Figura 9</b>	Dispersión de residuales estandarizados de las combinaciones con valores de mejor ajuste.....	<b>42</b>
<b>Figura 10</b>	Diagrama de dispersión de residuales estandarizados para el modelo seleccionado de volumen total con corteza, para <i>Pinus maximinoi</i> H.E.Moore.....	<b>50</b>

**"DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO PARA *Pinus maximinoi* H.E. Moore, EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA Y BAJA VERAPAZ"**

**"VOLUME DISTRIBUTION PER PRODUCT FOR *Pinus maximinoi* H.E. Moore, IN THE COUNTRIES OF ALTA AND BAJA VERAPAZ"**

**RESUMEN**

Uno de los principales obstáculos para el desarrollo forestal en la región, es la falta de planes de manejo orientados al rendimiento sostenido del bosque, lo que ha provocado una disminución de la cobertura y calidad de la masa arbolada; con el propósito de contrarrestar lo anterior, el sector forestal nacional está proponiendo actualmente un modelo simplificado que se basa en un inventario práctico, preciso y rápido, el cual utiliza los resultados de investigaciones mediante tablas y funciones de crecimiento. Sin estas investigaciones forestales, el carácter de simplificado no tendría sentido, pues lo que se busca es crear las herramientas que agilicen la toma y el procesamiento de los datos de campo, con el fin de manejar el bosque mediante el uso de técnicas adecuadas.

En función de lo anterior, la presente investigación se dirigió a obtener tablas de distribución del volumen por producto y tablas de volumen total, con corteza para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz. La toma de datos de campo se realizó en 7 fincas forestales de Alta y Baja Verapaz, estableciendo un total de 14 categorías diamétricas, partiendo de un DAP (diámetro a la altura del pecho) de 10 cm hasta un máximo de 80 cm. Basándose en un muestreo selectivo, se tomaron como mínimo 3 árboles para cada categoría diamétrica, haciendo un total de 59 árboles muestrados con fuste recto.

Se generó un total de 870 registros de medición provenientes de los datos de campo, los cuales constituyeron la base de datos primaria para la estimación de los volúmenes totales con corteza para árboles individuales. Posteriormente, en función de los valores reales de volúmenes, se determinaron las proporciones de troza, trocillo y leña. Para estimar los porcentajes por productos y los volúmenes totales, se probaron 17 modelos matemáticos a través de análisis de regresión lineal múltiple, mediante la utilización del Paquete Estadístico SAS (Statistical Analysis System) tomando como variables dependientes los porcentajes por producto y como variables independientes el DAP y la altura total.

Para las tablas de distribución del volumen por producto, se compararon y seleccionaron en forma preliminar los mejores modelos matemáticos de porcentaje de troza, trocillo, leña, basándose en los análisis de varianza de cada uno de los modelos matemáticos, a través de los siguientes estimadores estadísticos: Coeficiente de determinación ( $R^2$ ), coeficiente de variación (CV) y cuadrado medio del error (CME).

Posteriormente, para tener una mejor confiabilidad, se probaron los mejores modelos preliminares, por medio de los siguientes indicadores: Desviación media (DM), desviación agregada (DA), desviación estándar de la estimación ( $S_{xy}$ ), el error estándar de estimación expresado en porcentaje ( $S_{xy}\%$ ) y análisis de errores residuales.

Además de lo anterior, fue necesario hacer combinaciones con los mejores modelos seleccionados inicialmente. Por lo que se estimaron 72 posibles combinaciones de modelos, que nuevamente fueron sometidas a los anteriores indicadores estadísticos, para finalmente elegir la mejor combinación.

Los modelos matemáticos incluidos en la combinación seleccionada y que representaron las proporciones del volumen por producto para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, fueron los siguientes: Para troza:  $\text{Ln } V\% = 1.654835 \text{ Ln } H + 0.000422 D - 0.043198 H$ ; para trocillo:  $\text{Ln } V\% = 10.318851 - 2.391644 \text{ Ln } H - 0.058462 D + 0.064263 H$ ; para leña:  $\text{Ln } V\% = -0.046817 D + 2.750181 \text{ Ln } D - 1.598876 \text{ Ln } H$ . Donde,  $V\%$  = volumen expresado en porcentaje;  $\text{Ln}$  = logaritmo natural;  $H$  = altura del fuste en metros; y  $D$  = diámetro a la altura del pecho en centímetros.

La tabla de volumen total con corteza, generada a partir de esta investigación, surgió de la necesidad de contar con una tabla volumétrica para calcular los volúmenes totales en metros cúbicos, que incluyese el volumen de fuste y ramas, tomando como base los porcentajes obtenidos por la tabla de productos. Fueron desarrolladas a partir de 58 registros de volumen total con corteza y sometidas a análisis de regresión lineal múltiple, para luego comparar y seleccionar el mejor modelo matemático, tomando los mismos criterios utilizados para el caso de las tablas de productos.

El modelo más indicado para ser la base de la elaboración de una tabla de estimación volumétrica (incluyendo volumen de fuste y ramas), para árboles de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, es el siguiente:  $\text{Volumen} = -0.051595 + 0.000233 D^2 + 0.001554 H + 0.000031983 D^2 H$ .

Debido a que bajo condiciones naturales es difícil encontrar una alta proporción de individuos de fuste recto, se recomienda elaborar tablas de productos tomando en cuenta sus características físicas, como bifurcaciones, sinuosidad u otras malformaciones que afecten su calidad productiva.

Este estudio se realizó con el apoyo directo del Proyecto 7, "Manejo y Utilización Sostenida de Bosques Naturales de Coníferas en Guatemala", del Programa Regional Forestal para Centro América (PROCAFOR), financiado por la Agencia Finlandesa de Desarrollo Internacional (FINNIDA).

## 1. INTRODUCCION

Actualmente el estudio silvicultural y la planificación del manejo forestal en el país es escaso e insuficiente, razón por la cual, las extracciones forestales realizadas hasta el momento se basan únicamente en el interés por la acumulación de capital en el más corto plazo posible, lo que ha llevado a la disminución de la masa forestal en las últimas décadas.

En el ámbito centroamericano se inició un proceso orientado a promover e impulsar el manejo forestal sostenible, apoyado por diferentes instancias, sobresaliendo la Agencia Finlandesa para el Desarrollo Internacional -FINNIDA-; la cual instituyó el Programa Regional Forestal para Centro América -PROCAFOR- a través del "Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal -CEMAPIF-", en Siguatepeque, Honduras, que ha desarrollado una metodología práctica y objetiva para la formulación de planes de manejo simplificado para coníferas. El cual está siendo implementado y validado para Guatemala por medio del Proyecto 7, "Manejo y utilización sostenida de bosques naturales de coníferas en Guatemala"; estableciendo áreas piloto, cuya aplicación permitirá mejorar el modelo inicialmente desarrollado por CEMAPIF y para lo cual se requiere de investigación forestal aplicada al manejo, que fundamente y consolide el uso del modelo, con el objetivo de agilizar el proceso de toma de datos en el campo.

De esta forma el modelo simplificado de planes de manejo indica en forma gráfica o escrita que tan rentable es manejar una finca, y cuánta será la mano de obra necesaria, para que la actividad sea rentable y atractiva en forma permanente para el propietario, ya que muestra los costos e ingresos por año de trabajo durante el período del plan. También indica qué productos primarios puede ofrecer el bosque para la demanda industrial, así como para satisfacer las necesidades energéticas de la mayoría de la población guatemalteca. Sin embargo, las estimaciones de los productos a extraer se obtenían en un principio, con tablas generadas para Honduras, por lo que se consideró importante desarrollar un estudio que permitiera tener estimaciones aplicables a nuestro medio.

Por otro lado, la importancia económica de estimar los volúmenes por producto, es principalmente dar a conocer al propietario del bosque, información que sirva de base para calcular la rentabilidad de operaciones contemplada en un plan de manejo.

En el presente estudio, se obtuvo una tabla de productos forestales, que sirve para verificar los porcentajes de troza, trocillo y leña de árboles individuales; además, se elaboró una tabla de volumen total que incluye el volumen de copa (ramas), también para árboles individuales; ambas tablas podrán ser utilizadas en la Región de las Verapaces. Se determinó la relación volumen-DAP-altura, a partir de la cubicación de 58 árboles, distribuidos en 14 clases diamétricas, que generaron un total de 870 registros; dichos árboles fueron muestreados en 7 fincas forestales de los departamentos de Alta y Baja Verapaz.

Para la construcción de tales modelos matemáticos, se recurrió al uso del análisis de regresión lineal múltiple; el cual supone que el volumen está relacionado a las variables independientes seleccionadas (diámetro a la altura del pecho DAP, altura total) y validadas por el análisis de varianza de dichas regresiones. Basándose en diferentes criterios para la selección de los mejores modelos para obtener los porcentajes de cada producto forestal y los volúmenes totales, para luego realizar el despliegue de dichas tablas.



## 2. DEFINICION DEL PROBLEMA

La necesidad de conservar y manejar el recurso forestal se basa en la demanda de productos maderables que provienen del bosque, por lo que es necesario realizar estudios que proporcionen la información básica para planificar actividades silvícolas adecuadas en plantaciones y bosques naturales.

Uno de los principales obstáculos para el desarrollo forestal en la región, ha sido la falta de planes de manejo orientados al rendimiento sostenido del bosque. Históricamente los bosques han sido explotados con criterio minero, como si se tratara de un recurso no renovable, sin considerar que es capaz de producir bienes y servicios a perpetuidad. Por un lado, se explota a través de la corta selectiva sin considerar el rendimiento sostenido, extrayendo los mejores árboles, y por otro lado, se destruyen extensas regiones boscosas para cambiar el uso del suelo, sin que se aprovechen los productos que origina el descombro.

Los planes de manejo anteriormente eran concebidos como documentos voluminosos e incomprensibles, inclusive para los técnicos forestales e inaccesibles para el propietario del bosque. Razón por la cual, en la actualidad para toda actividad de manejo sostenible del bosque, el Instituto Nacional de Bosques -INAB-, recomienda la utilización del Modelo Simplificado para la elaboración de planes de manejo.

Estos planes de manejo se elaboran en base al Modelo Centroamericano, el cual se define como la metodología desarrollada en el marco del Programa Regional Forestal para Centro América -PROCAFOR-, y aprobada por el Consejo Centroamericano de Bosques y Areas Protegidas -CCABAP- que constituye una herramienta práctica, con un lenguaje sencillo y a un costo aceptable, que permite manejar el bosque mediante el uso de técnicas adecuadas, buscando mejorar los ingresos familiares y el recurso forestal tomando en cuenta el equilibrio ecológico.

La simplificación del modelo no significa obviar o dejar de hacer, sino más bien hacerlo más comprensible y accesible al grupo al que se dirige, en este caso, el propietario del bosque. El carácter de simplificado no tiene sentido si se carece de las herramientas que la hagan viable y que agilicen la toma de datos de campo y el procesamiento de los mismos.

Un aspecto en el cual el modelo simplificado tiene su base, es el siguiente: Que éste se basa en un inventario práctico, preciso y rápido, que utiliza los resultados de investigaciones mediante *tablas y funciones de crecimiento* (23).

Sin embargo, para que el modelo pueda sustentarse y validarse de una mejor manera, se requiere de información básica, generada para las diferentes especies de coníferas del país, en especial aquellas especies de mayor importancia económica; la cual en estos momentos se considera insuficiente, particularmente en cuanto a la estimación de los productos primarios locales de mayor demanda a nivel nacional, entre los que destacan, la troza, la leña y el trocillo (independientemente del uso al que sean destinados), ya sea para la industria forestal o para satisfacer las necesidades energéticas de la población guatemalteca.

Uno de los principales problemas que afrontan los técnicos forestales, es precisamente la estimación de los productos a extraer al momento de planificar las actividades silvícolas, ya que es un trabajo arduo y muchas veces inexacto, que conlleva a una subestimación o sobrestimación del producto, siendo el propietario del bosque el más afectado.

En función de lo anterior, el presente estudio permitirá que los propietarios puedan definir con mejor y mayor precisión el tipo y cantidad de productos a obtener del bosque, al momento de ejecutar el plan de manejo, y en consecuencia los beneficios derivados del mismo.

De lo anterior deriva la importancia de esta investigación que se desarrolló en una de las regiones del país donde se distribuye naturalmente *Pinus maximinoi* H.E. Moore; y siendo esta una especie de importancia económica y ecológica, se consideró necesario generar estas herramientas técnicas con las que se pretende simplificar los planes de manejo, propiciando a futuro la sostenibilidad del bosque y contribuyendo con el desarrollo forestal en esta región.

### 3. MARCO TEORICO

#### 3.1 MARCO CONCEPTUAL

##### 3.1.1 Descripción de *Pinus maximinoi* H.E. Moore

##### 3.1.1.1 Clasificación Taxonómica

La clasificación taxonómica, según Benítez (2), se describe a continuación:

<b>FAMILIA</b>	<b>Pinaceae</b>
<b>GENERO</b>	<i>Pinus</i>
<b>ESPECIE</b>	<i>Pinus maximinoi</i> H.E. Moore
<b>SINONIMO</b>	<i>Pinus tenuifolia</i> Bentham
<b>NOMBRE COMUN</b>	Pino candelillo, pino blanco.

Peters (18), indica que *Pinus maximinoi* H.E. Moore está estrechamente relacionado con la especie *Pinus pseudostrobus* Lindl. Sin embargo, tiene características propias, que debe ser reconocida como especie separada y no una variedad, son sus hojas más delgadas, sus conos muy diferentes, la corteza del fuste y sus ramas delgadas.

##### 3.1.1.2 Descripción Morfológica

"Árbol hasta de 48 m. de altura, con diámetros hasta de un metro. Corteza en árboles jóvenes es lisa, de color gris, los árboles adultos tienen la corteza gruesa surcada longitudinalmente, áspera y tosca, de color café-grisáceo. Ramillas frágiles con largos entrenudos moreno rojizos o amarillentos, lustrosas, las huellas de las brácteas poco marcadas y espaciadas. Hojas en grupos de cinco de 16-28 cm de largo, muy delgadas, colgantes, de color verde claro, brillantes"(18).

"Pocos estomas, en la parte dorsal de la hoja 2 a 3, y lateralmente en general en dos hileras. Canales resiníferos son medios en número de 2 a 3, los haces fibrovasculares son dos, aproximados y difícil para distinguirlos. El hipodermo forma de una a tres entradas triangulares, a veces formando una unión con el endodermo. Esta característica también la separa de la especie de *pseudostrobus*. Endodermo compuesto de células relativamente grandes con paredes extremas engrosadas. Vainas perennes, apretadas y anilladas de 14 a 18 mm. De largo y color 2.5 Y R 4/2"(18).

"Contornos oblongos alternados en ambos extremos de color moreno rojizo, en grupos de cuatro a cinco. Con escamas resinosas, con puntos gruesos, dirigidas hacia el ápice. Conos oblongos o largamente ovoides, en la base aplanadas, asimétricas de 6.5 a 10 cm. De largo, de color moreno rojizo claro. Los conos caen con sus pedúnculos"(18).

"Escamas delgadas y flexibles con ápice redondeado, débilmente aquillada, con una pequeña espina decídua. Las escamas después que los conos se abren (madurez), se reflejan. Maduración y floración en mismo tiempo en enero y febrero. Los conos son pronto caedizos. Esta especie requiere buenos y profundos suelos con precipitación mayor de 900 mm por año" (18).

### 3.1.1.3 Distribución Natural en Guatemala

"La principal distribución natural de *P. maximinoi* H.E. Moore en Guatemala, se encuentra en Alta Verapaz, Quiché, y en sitios con suelos fértiles, precipitación abundante y clima sub-tropical. Su distribución en Guatemala es bastante amplia, se encuentra en los siguientes lugares: Quiché, a 2,100 msnm; Alta Verapaz, sobre 1,200 msnm; Baja Verapaz, entre 1,300 a 2,300 msnm; El Progreso, entre 1,300 a 1,400 msnm; Zacapa, sobre 1,500 msnm; Chiquimula, a 1,200 msnm; Jalapa, a 1,500 msnm; y en Guatemala, Sacatepéquez, Sololá, Santa Rosa " (18).

### 3.1.1.4 Características y propiedades de la madera de *P. maximinoi* H.E. Moore

"No hay diferencia entre albura y duramen; la madera es de color amarillo cremoso y de olor ligeramente perceptible, no presenta ningún sabor. El hilo es típicamente recto, de textura fina, brillo alto y veteado suave. La gravedad específica es de  $0.41 \text{ gr/cm}^3$  (es decir moderadamente liviana). Su estabilidad dimensional y contracciones son comparables con *Pinus pseudostrobus* Lindl" (2).

### 3.1.1.5 Secado, preservado y usos de la madera de *P. maximinoi* H.E. Moore

"Es de rápido secado al aire libre, requiriendo buena ventilación cuando es recién aserrada para evitar la mancha azul. En el secado convencional se pueden emplear programas normales o rápidos. La madera es susceptible al ataque de hongos e insectos, es decir, que es de baja resistencia. Es fácil de preservar por los métodos de baño caliente-frío y vacío-presión. Pueden emplearse materiales hidrosolubles u oleosos" (2).

"Esta madera es fácil de trabajar con herramientas manuales y de carpintería en general. Presenta un excelente pulimento y es blanda para ser clavada y atornillada. Su comportamiento al engomado es satisfactorio. Algunos de sus usos son: madera aserrada, chapas y contrachapados, ebanistería, decoración de interiores, mesas, puertas y ventanas, muebles finos, sillas y bancos, artesanías, molduras, cajones acústicos, cajas y embalajes, postes, pilotes (cuando está tratada), tejamanil, palillos, fósforos, plataformas, canales, jaulas, sistemas estructurales, pulpa para papel y construcciones en general" (2).

### 3.1.2 Productos derivados del bosque

Según Bernal (3), se entiende como producción forestal a la intervención del hombre en el bosque a efecto de obtener satisfactores a sus necesidades, las que están determinadas por las condiciones sociales en que se desenvuelve. Dado que los productos forestales provienen directamente del bosque, se hace una división de los mismos en:

**a) Productos primarios;** los que a su vez se subdividen en:

- Productos primarios directos: todos aquellos que provienen de masas que ya han alcanzado la madurez.
- Productos primarios inmediatos: constituidos por partes del vuelo que aún no han alcanzado la madurez, tal es el caso de maderas y leñas resultantes de cortas intermedias (podas, aclareos, etc.).
- Productos primarios mediatos: todos aquellos productos provenientes de árboles en pie, los cuales pueden ser: resinas, gomas, látex, corcho, semillas y frutos.

**b) Productos secundarios;** consistentes en plantas menores, leña a partir de árboles muertos o producto de la poda natural, caza y pesca dentro del área boscosa.

La actual Ley Forestal de Guatemala (15), define los productos forestales como los bienes directos que se aprovechan del bosque. Estos incluyen los siguientes: trozas rollizas o labradas, sin ningún tratamiento, postes y pilotes sin ningún tratamiento; material para pulpa, durmientes sin ningún tratamiento; astillas para aglomerados, leña, carbón vegetal, semillas, gomas, resinas y corteza.

Según el boletín de precios (10), los principales productos forestales comercializados en Guatemala son: leña rajada y sin rajar (con dimensiones variables, generalmente de 40 cm de longitud y diámetros

superiores a 2.54 cm, en unidades denominadas tareas), madera en troza, madera **aserrada rústica**, madera aserrada fina, postes para cercos (de madera rolliza, tienen longitudes de 2 a 2.5 m y diámetros de 10 a 25 cm), carbón vegetal, tableros contrachapados y aglomerados.

### **3.1.3 Determinación de productos forestales primarios a extraer**

Según Turtiainen y Barahona, 1995 (23), la determinación del porcentaje de productos a extraer, se basa en el porcentaje de volumen a extraer como también en la tasa de conicidad de los árboles a cortar.

Los productos los dividen en 4 categorías que son: Normalmente troza, trocillo, leña y otros; pero el técnico puede clasificar los productos según la demanda actual. En la parcela se puede estimar de la siguiente manera:

- a) **Experiencia del técnico:** El técnico puede estimar el porcentaje de los productos, directamente en el campo de los árboles que se seleccionan para extraer en el futuro.
- b) **Usando tablas de productos:** es recomendable utilizar tablas de productos, como una guía que ayudará al técnico para determinar el porcentaje de productos a obtener.

"En la corta final, la tabla de productos mide los porcentajes en la situación ideal, pero en los raleos es necesario determinar el diámetro promedio de los árboles a extraer. Si los árboles tienen muchos defectos o daños, hay que bajar el porcentaje según la experiencia del técnico, sobre todo subestimando el porcentaje de trozas, notando siempre que la suma de los porcentajes sea igual a 100" (23).

### **3.1.4 Distribución de Biomasa.**

Según Hakkila 1989, mencionado por Castellanos (5), el conocimiento de la distribución de biomasa en los principales componentes de un árbol individual es la base para una evaluación cuantitativa de la biomasa forestal de un rodal, sitios de aprovechamiento o áreas mayores. El manejo eficiente, la planeación y desarrollo del aprovechamiento, así como el uso de maquinaria, presupone un conocimiento de la biomasa forestal y su distribución entre los componentes de los árboles. La separación e identificación de los componentes del árbol sugerida por este autor, es la siguiente:

1. **Arbol entero**, que incluye la biomasa de todos los componentes del árbol arriba de la sección transversal del tocón, excluyendo el tocón y raíces.
2. **Arbol completo**, se incluye el tocón y raíces.
3. **Punta no comercial del fuste**, es definida por prácticas de troceo local.
4. **Ramas**, incluyen toda la madera y corteza de ramas vivas y muertas, pero sin incluir hojas, yemas y órganos reproductivos de un árbol. Las ramas son con frecuencia divididas en clases diamétricas, pero esta división varía de estudio a estudio de acuerdo a las condiciones y necesidades particulares.
5. **Follaje**, incluye todas las hojas y nuevos brotes. Los órganos reproductivos, en la mayoría de los estudios también son incluidos en la biomasa foliar, aunque existen algunos estudios que los consideran como otro componente.
6. **Copa**, está constituida por todas las ramas vivas y muertas, más todo el follaje y órganos reproductivos. Sin embargo, en muchos estudios las ramas muertas se excluyen.
7. **Tocón**, es la biomasa que se encuentra sobre el nivel del suelo y abajo de la base del fuste comercial.
8. **Raíces**, incluyen todas las raíces laterales, pero excluye la raíz principal, la cual se considera una parte del tocón como una elongación natural del tallo. Las raíces al igual que las ramas son subdivididas en clases diamétricas.

"La medida tradicionalmente empleada para cuantificar madera y fustes ha sido en función de volumen. Sin embargo, cuando los componentes del árbol como, ramas, follaje, tocón y raíces son considerados los métodos para determinar el volumen, llegan a ser imprácticos. Por lo anterior, la biomasa (peso) más que el volumen, es la unidad más fácil y práctica aunque ésta es destructiva para cuantificar los componentes de los árboles, el árbol completo o todo un bosque" (5).

### 3.1.5 Tablas de Volumen

Ferreira (8), define la tabla de volumen como una tabulación del volumen promedio de árboles de diferentes tamaños, expresados por su DAP (diámetro a la altura del pecho), altura y diferentes clases de forma. El volumen es la variable dependiente de las variables independientes DAP y altura. La idea básica de las tablas de volumen es desarrollar para una especie una relación entre el volumen y algunas variables de fácil determinación como el DAP (diámetro a la altura del pecho) y la altura. Además, Ferreira (8), indica que las tablas de volumen pueden clasificarse así:

a. **Tablas de Volumen Local:** Es aquella que utiliza solamente el DAP, como variable independiente, asume que todas las variables excepto el DAP son uniformes dentro de un área limitada para la cual la tabla es efectiva, y válida.

b. **Tablas de Volumen General (Estándar):** Es aquella que utiliza el DAP y la Altura como variable independiente. La altura utilizada puede ser la altura total como es el caso para las especies coníferas.

c. **Tablas de Volumen con clase de forma:** Esta tabla para dar el volumen incorpora la forma del árbol como variable.

FAO (7), recomiendan el empleo de técnicas de regresión para el proceso y análisis de datos como una fase de construcción de una tabla de volumen. Esta técnica elimina la subjetividad de otros métodos.

Sobre la base de la metodología para la construcción de tablas de volumen de las especies coníferas del país, y dentro del marco del "Proyecto de fortalecimiento al sector forestal" (FAO, 1977) (7), se indica que las etapas fundamentales para la construcción de una tabla de volumen son:

1. Selección de la muestra.
2. Mediciones de campo.
3. Cubicación de los árboles muestra.
4. Análisis de regresión de volumen cúbico y elección del modelo más apropiado.
5. Comparación estadística entre funciones de distintas especies, tipos forestales y eventual agrupación de ellas.
6. Prueba de tablas.
7. Determinación de las funciones definitivas y despliegue de las tablas.

#### **3.1.5.1 Selección de la muestra**

Ferreira (8), indica que la muestra de árboles que servirá de base para construir tablas debe ser representativa de la población para lo cual lo aconsejable es seleccionar al azar. Según FAO (7), la distribución geográfica de las parcelas en las que se seleccionan los árboles tipos debe basarse en un diseño de muestreo objetivo, ya sea aleatorio o sistemático.



En cuanto a la distribución por especie o por clases diamétricas, el problema es más complicado. Por lo que Castellanos (5), recomienda el *muestreo selectivo*, indicando que el empleo de un muestreo de árboles por tamaño es más eficiente que un muestreo al azar, porque éste último tiende a incluir muchos árboles pequeños y pocos árboles grandes, lo cual no es representativo para este tipo de estudios.

### 3.1.5.2 Número de muestras

FAO (7), indica que la muestra mínima que se necesita es de 30 árboles de una especie para ser estadísticamente aceptable. No hay una respuesta general para el número de árboles tipos a seleccionar para cualquier ecuación de cubicación. Cuanto mayor sea el número de muestras, más precisa será la estimación, pero depende de muchos factores, tales como rango de diámetros y altura de árboles, extensión superficial, tipos de bosque, variedad de factores estacionales y otros. En áreas limitadas se han construido ecuaciones de cubicación "locales", para una determinada especie o grupo de especies, con 100 o incluso menos árboles tipo.

Según Cailliez (4), para un rodal monoespecífico y homogéneo se puede considerar que se necesitan de 50 a 100 árboles para tarifas de una sola entrada y entre 80 y 150 para tarifas de dos entradas. Además, explica que el número de árboles no es el único criterio a considerar; es necesario escoger los rodales de donde se extraerán los árboles y dentro de los rodales seleccionar los árboles muestra.

### 3.1.5.3 Medición directa del volumen de árboles apeados

Según FAO (7), de acuerdo con el tipo de volumen requerido, las mediciones serán más o menos numerosas. El volumen será más exacto a medida que el número de diámetros medidos sea mayor. Estas mediciones son más fáciles de efectuar y más precisas en árboles apeados que en árboles en pie.

"Las mediciones en longitud se llevan a cabo con una cinta de diez metros y se expresan en metros con un decimal como mínimo. Las mediciones de grosor también se efectúan con una cinta, teniendo cuidado de colocarla perpendicularmente al eje del tronco y bien ceñida sobre el perímetro del árbol. Si se dificulta deslizar la cinta por debajo del árbol, la medición se hará con forcípula. Para la medición de la madera apilada, el volumen obtenido se expresa en estéreos, con un decimal. Entendiendo como estéreo el volumen ocupado por piezas de madera de un metro de largo apiladas sobre un metro de

ancho y un metro de alto. Es por lo tanto un volumen que contiene aire y madera en proporciones variables de acuerdo a la forma de las piezas" (7).

Cailliez (4), define el coeficiente de apilamiento como el volumen de madera expresado en metros cúbicos, contenido en un estéreo. En la práctica varía entre 0.45 (ramas pequeñas de mala forma) y 0.80 (leños partidos apilados extremos gruesos con delgados). Es difícil estimar con precisión un coeficiente de apilamiento. Cabe mencionar que mientras las piezas apiladas sean más cortas, derechas y gruesas, mayor será el coeficiente de apilamiento.

### 3.1.5.4 Cubicación de árboles

Según Ferreira (8), la manera más obvia de computar los volúmenes de un árbol aislado es dividirlo en secciones de longitud igual o desigual (trozas o "truncos de cono" del tronco, ramas en ciertos casos), para estimar por fórmulas geométricas el volumen de estas partes individuales y por suma obtener el volumen. La exactitud es generalmente suficiente con respecto a los errores de medición, y esto es tanto más cierto cuando el número de secciones es más alto.

Cailliez (4), menciona que la utilización de una u otras fórmulas es de escasa importancia, porque la precisión de la estimación del volumen depende más de las mediciones del diámetro, que del modelo de cálculo utilizado. Las fórmulas geométricas usuales son:

- Fórmula de Smalian:  $V = L / 2 (AB1 \times AB2)$
- Fórmula de Huber:  $V = AB3 \times L$
- Fórmula de Newton:  $V = L / 6 (AB1 + (4 \times AB3) + AB2)$

donde:

- V = Volumen de troza en metros cúbicos
- AB = Area basal ( $0.7854 \times D^2$ ) en metros cuadrados
- AB1 = Utiliza el diámetro inferior de la sección (el mayor) en centímetros
- AB2 = Utiliza el diámetro superior de la sección (el menor) en centímetros
- AB3 = Utiliza el diámetro central de la sección en centímetros
- L = Longitud de sección en metros
- D = Diámetro en centímetros

Peters (18), indica que la madera del fuste sobre un índice de utilización de 10 cm ya no es útil para aserrijo y su uso se restringe para leña o pulpa.

### 3.1.5.5 Análisis de regresión del volumen y selección del modelo más apropiado

Ferreira (9), indica que en la práctica forestal se encuentra a menudo que existe una relación entre dos o más variables. Por ejemplo, se puede predecir o estimar la altura de un árbol en función de su DAP; también se puede estimar el volumen de un árbol en función de su DAP y Altura; o el volumen por hectárea de un bosque se puede predecir conociendo su edad, cantidad de árboles por hectárea y calidad de sitio.

Según Cailliez (4), se han desarrollado numerosas ecuaciones para expresar el volumen como variable dependiente sobre una o más variables independientes como el DAP y la altura; y el problema no es tanto la obtención de los coeficientes de la ecuación, sino la elección del modelo más adecuado entre tantas ecuaciones conocidas.

Philip (1983), mencionado por Barrena, Dancó y Sáenz (1), indica que la utilización del análisis de regresión en la construcción de ecuaciones de volumen presenta las siguientes ventajas:

- Proporciona un estimado de la precisión de la predicción o estimación.
- Se cuenta con un método objetivo de elección entre diferentes modelos matemáticos, y
- Se necesitan pocos datos para alcanzar una precisión dada.

Como menciona Ferreira (9), en el análisis de regresión se usa la siguiente terminología:

- **Variable independiente:** Es la variable ubicada a la derecha del signo igual y se representa por la letra  $X$ , se le llama también argumento.
- **Variable dependiente:** Es la variable ubicada a la izquierda del signo igual y se representa por la letra  $Y$ , se llama así porque su valor depende del valor de la variable independiente  $X$ .
- **Intercepto o constante:** Es un parámetro desconocido que se representa por la letra  $a$ , también se conoce como ordenada en el origen.
- **Pendiente o coeficiente:** Es un parámetro desconocido que se representa por la letra  $b$ .

Para Barrera et al. (1), la elección de la mejor ecuación de volumen debe hacerse lo más objetivamente posible; y para ello las ecuaciones deben clasificarse de acuerdo a los siguientes criterios:

- **Cuadrado medio del error (CME):** Es un indicador que establece el error en la aproximación de los valores predichos con relación a los datos reales.
- **Coefficiente de determinación ( $R^2$ ):** Valor que indica que el porcentaje de variación de los datos estimados es explicado por el modelo seleccionado, es decir que la bondad del ajuste del modelo a los datos reales, en tal razón, mientras más se acerque éste valor a la unidad, se tendrá una correlación y regresión casi perfecta.
- **Coefficiente de variación (CV):** Determina el porcentaje de variabilidad de los valores estimados con relación a los valores reales.

Considerando lo señalado por Cailliez (1980) (4), no se debe juzgar la calidad del ajuste de una regresión solamente por el valor numérico del coeficiente de determinación  $R^2$ , pues el ajuste puede ser malo y el valor de  $R^2$  elevado, o viceversa. El valor del coeficiente de variación CV, refleja porcentualmente la variación que los valores reales tienen con respecto a los valores que el modelo esperaría observar, y un modelo será más ajustado mientras su valor de coeficiente de variación sea mínimo.

Ferreira (8) y Rodríguez (20), indican que con el objeto de determinar la exactitud de las tablas de volumen, se pueden utilizar las siguientes pruebas:

- **Error o desviación estándar de la estimación ( $S_{xy}$ ):** Es la media de las desviaciones cuadradas de los volúmenes reales y estimados.

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (V_r - V_e)^2}{n - 1}}$$

- **Desviación agregada (DA) o prueba de sesgo:** Se define como la diferencia de la suma de los volúmenes reales y los estimados expresados como un porcentaje de la suma de los volúmenes estimados. Además, es una indicación de la ausencia de sesgo en las tablas de volumen y no debe exceder el 1%.

$$DA = \left( \frac{\sum V_r - \sum V_e}{\sum V_e} \right) \times 100$$

- **Desviación media (DM):** Se define como el cociente de la suma de las diferencias de los volúmenes reales y los estimados (no se toma en cuenta el signo) y la suma de los volúmenes estimados expresados en porcentaje. Nos indica la variabilidad esperada en los datos utilizados, y puede en algunas ocasiones alcanzar el 10%.

$$DM = \left( \frac{\sum ((V_r - V_e) / V_e)}{n} \right) \times 100$$

- **Desviación estándar como porcentaje del volumen medio (Sxy%)**

$$S_{xy} (\%) = \left( \frac{S_{xy}}{\bar{V}} \right) \times 100$$

Según Rodríguez (20), la desviación agregada es una indicación de la ausencia de sesgo en las tablas de volumen y no debe exceder el 1%; mientras que la desviación media nos indica la variabilidad esperada en los datos utilizados, y puede en algunas ocasiones alcanzar el 10%.

## 3.2 MARCO REFERENCIAL

### 3.2.1 Estudios en torno a tablas de productos forestales

Vázquez y Ugalde (24), elaboraron una tabla de productos por clases diamétricas, y otra para cuatro densidades de plantación, para estimar el número y tipo de productos (leña, postes y trozas de aserrío), por árbol y por hectárea, para la especie *Eucalyptus grandis* Hill ex Maid, en Costa Rica respectivamente. Para confeccionar la tabla de productos por espaciamiento se midieron todos los árboles vivos de 16 parcelas, cuatro repeticiones por espaciamiento.

En total se cosecharon 163 árboles y los productos obtenidos fueron de cuatro tipos: a) Postes de construcción: con longitudes desde 2.1 hasta 8.0 metros y diámetros de 5.0 a 17.5 cm, en el lado más delgado; b) Postes de tendido eléctrico: con longitudes de 11.2 y 12.7 metros y diámetros mínimos de 25 y 28 cm, y en la parte superior (cúspide) de 14 cm como mínimo, respectivamente; c) Trozas de aserrío: de 2.5 a 3.5 m de longitud con más de 26 cm de diámetro en la parte delgada y d) Leña: mayor de 5 cm de diámetro y de un metro de longitud.

Para procesar los datos se hizo un análisis cuantitativo del número de productos por espaciamiento utilizando promedios y frecuencias. Para la tabla de productos por árbol se seleccionaron al menos cinco árboles típicos de cada clase diamétrica y se obtuvo un promedio de acuerdo con los productos más comunes que se obtenían de estos árboles en cada clase diamétrica.

Ilka Riihimäki, 1995 (19), estudiante de la Universidad de Helsinki en Finlandia, con apoyo del Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal (CEMAPIF), de Honduras, elaboró Tablas de Productos Forestales para *Pinus oocarpa* Schiede y *Pinus caribaea* var. hondurensis en Honduras y Guatemala.

Para ello se hizo una comparación de las curvas de conicidad, derivadas por H. Karttunen, calculando el volumen de los árboles con la función de Spline y el análisis de regresión con la función polinomial de J. Laasasenaho (1982). Estas tablas tienen amplio uso en la elaboración de los planes de manejo forestal para estas especies y pueden estimar los costos e ingresos posibles en las operaciones silviculturales.

Estudios realizados por el CEMAPIF (Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal) y COHDEFOR (Corporación Hondureña de Desarrollo Forestal), en Honduras, han elaborado

tablas de distribución del volumen por producto en porcentaje, para *Pinus oocarpa* Schiede, en función del diámetro con corteza promedio; definiendo porcentajes de leña, trocillo y troza para árboles individuales. Normalmente estos son los productos más importantes en un plan de manejo. Se definieron como trozas, diámetros mayores a 20 cm y longitudes variables; como tunca o trocillo diámetros entre 10 y 20 cm y leña a diámetros menores de 10 cm, sin tomar en cuenta las ramas (22). Ver el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Tabla de distribución del volumen por producto, para *Pinus oocarpa* Schiede generada en Honduras.

DAP con corteza Promedio, cm	Porcentaje Troza	porcentaje tunca	porcentaje leña
8	0	0	100
10	0	5	95
12	0	24	76
14	0	40	60
16	0	53	47
18	0	65	35
20	0	73	27
22	5	74	21
24	20	63	17
26	35	51	14
28	50	38	12
30	59	31	10
32	65	26	9
34	70	22	8
36	74	19	7
38	76	17	7
40	78	16	6
42	80	14	6
44	81	13	6
46	82	12	6
48	83	12	5
50	84	11	5
52	84	11	5
54	85	10	5
56	85	10	5
58	85	10	5
60	85	10	5

TROZA: Diámetro mayor 20 cm  
TUNCA: Diámetro 10 - 20 cm  
LEÑA: Otros

Fuente: Estudios realizados por CEMAPIF/Heikkinen  
Parcelas Permanentes (COHDEFOR), Honduras. 1995.

### 3.2.2 Ubicación geográfica del área de estudio

Esta investigación se llevó a cabo en las áreas de distribución natural del *Pinus maximinoi* H.E. Moore en los departamentos de Alta y Baja Verapaz (Figura 1). Se realizó una selección preliminar de fincas

forestales, en donde se realizaban aprovechamientos con licencias aprobadas por la Dirección General de Bosques - DIGEBOS - (actualmente Instituto Nacional de Bosques -INAB-). Cada finca fue tomada como área de muestreo y cada árbol como unidad muestral.

### 3.2.3 Zona de vida

El área de estudio, es decir, las áreas de distribución natural de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, según el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Guatemala en base a L. Holdridge (6), se localiza en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Subtropical Frío, que se identifica con el símbolo Bmh S(f), (Figura 2); y por lo tanto, es la zona que a continuación se describe:

- **Localización y extensión:** La zona de vida Bosque muy húmedo subtropical frío se caracteriza por ser el segmento de mayor altura del bosque muy húmedo. Este segmento abarca los alrededores de Cobán, siguiendo una faja angosta de 2 a 4 kilómetros de ancho siguiendo para Baja Verapaz, pasando por la Cumbre de Santa Elena (6).

Luego se separa la faja para seguir bordeando la Sierra de la Minas por un lado y por el otro sigue rumbo a la cumbre del Chol en Baja Verapaz. Esta zona de vida representa el 2.14% de la superficie total del país, con una extensión superficial de 2,330 kilómetros cuadrados (6).

- **Condiciones climáticas:** El régimen de lluvia es de mayor duración, lo que influye en la vegetación. El patrón de lluvias varía de 2,045 a 2,514 mm, con un promedio total anual de 2,284 mm de precipitación; las biotemperaturas van de 16°C a 23°C. La evapotranspiración potencial promedio se estima en 0.5 (6).
- **Topografía y vegetación:** La topografía es generalmente ondulada llegando en algunos casos a ser accidentada. La elevación varía entre 1,100 m en la Finca Las Victorias, hasta 1,800 msnm en Xonté, Nebaj, Quiché (6).

Posee una vegetación natural indicadora representada principalmente por: *Liquidambar styraciflua*, *Pinus maximinoi* H.E. Moore, *Persea donell smithii*, *Persea schiedeana*, *Myrica cerifera*, *Rapanea ferruginea*, *Eurya seemanii*, etc (6).



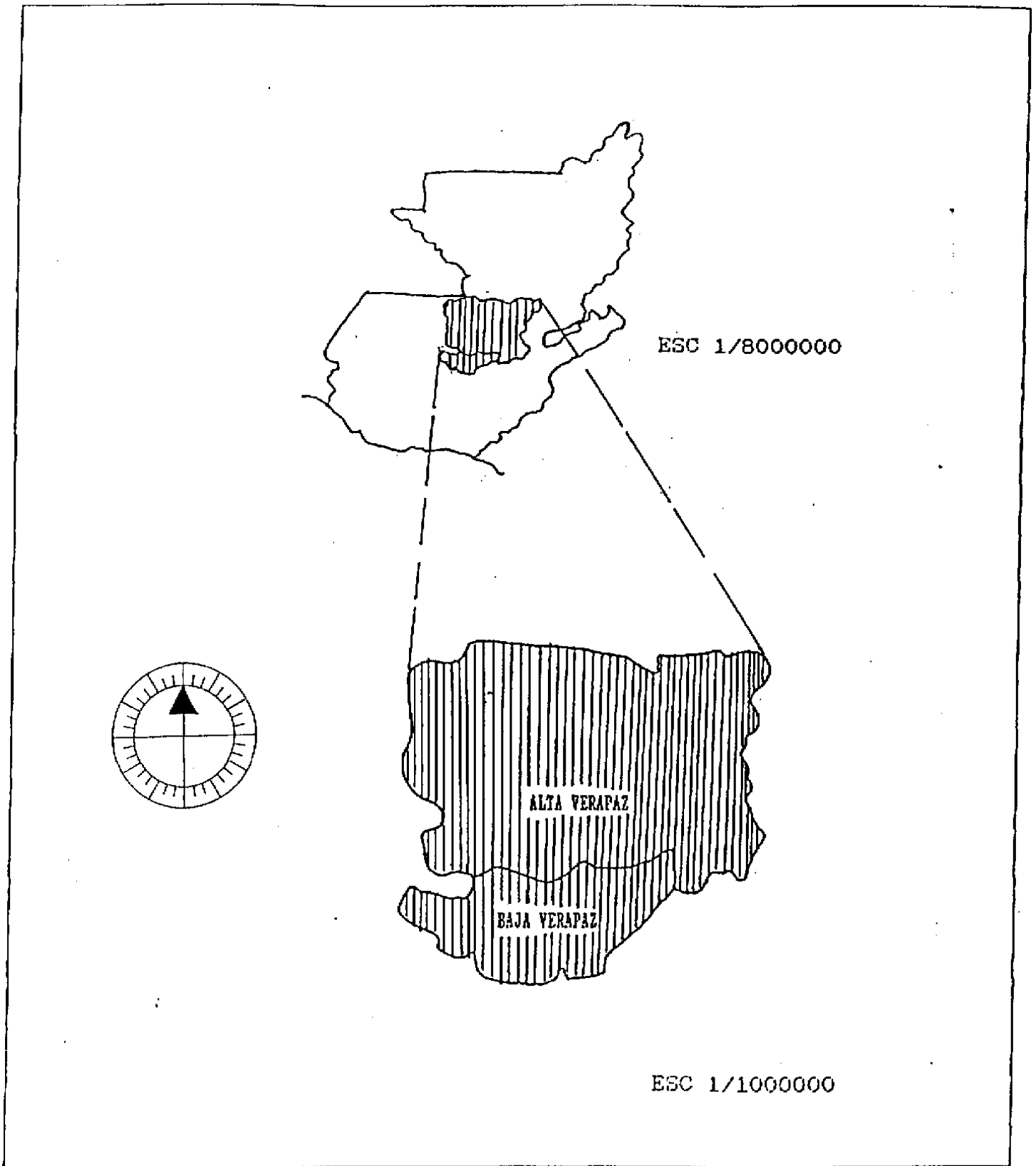


Figura 1. Ubicación geográfica del área de estudio, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.

Escala  
Indicada

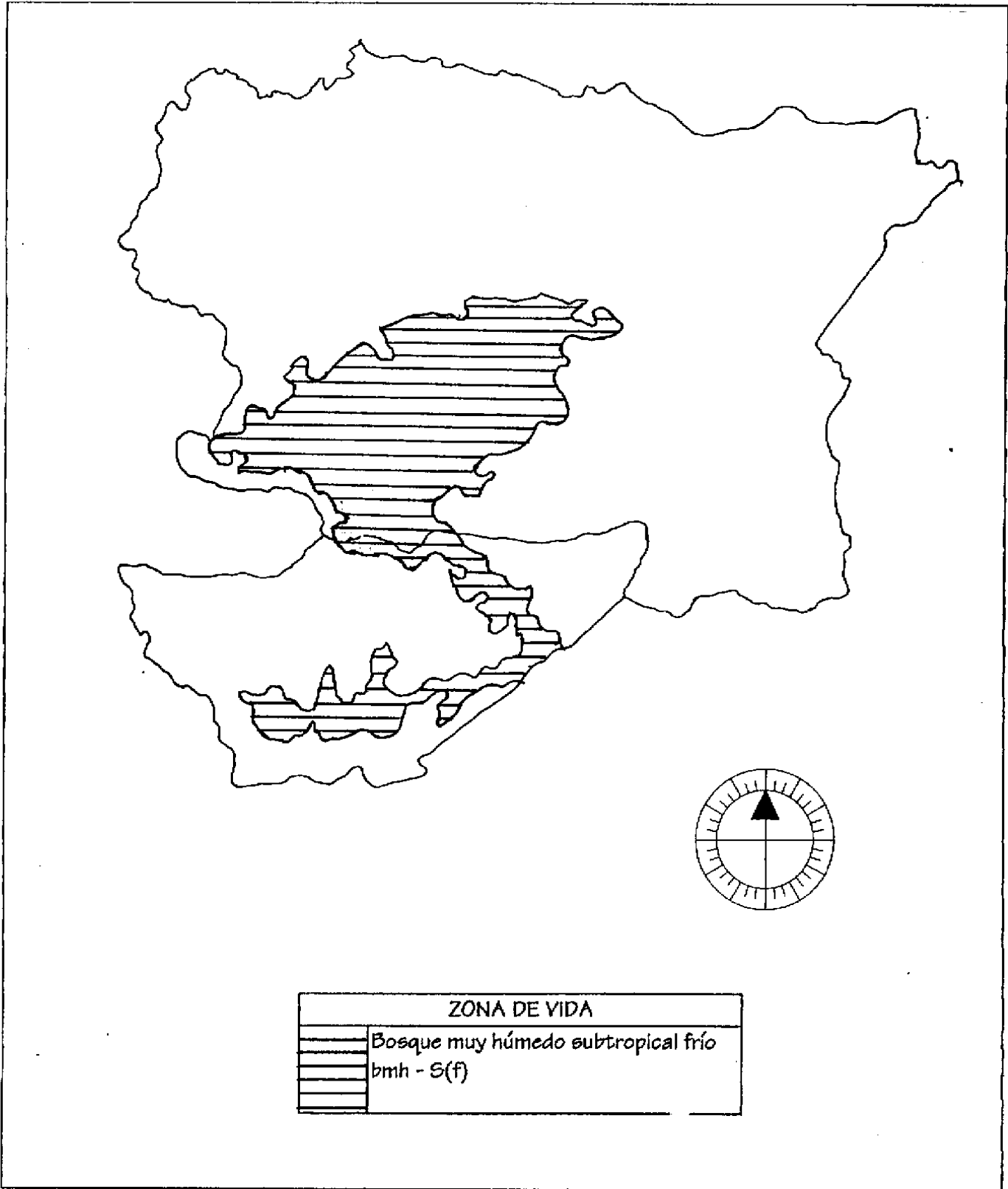


Figura 2. Zona de vida del área de estudio, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.

Escala  
1 : 100,000

### 3.2.4 Clima

De acuerdo con el mapa climatológico según Thornthwaite (13), la región de las Verapaces goza de variados climas, siendo los que predominan en el área de estudio los siguientes:

1. Templado, sin estación seca bien definida, carácter del clima muy húmedo, sin estación seca bien definida (B<sub>2</sub>a'Ar).
2. Semicálido, sin estación seca bien definida, carácter del clima muy húmedo, sin estación seca bien definida (B'a'Ar).
3. Templado, con invierno benigno, carácter del clima muy húmedo, sin estación seca bien definida (B<sub>2</sub>b'Ar).

Los datos climatológicos del área de estudio se obtuvieron de la estación meteorológica clase "A", ubicada en la ciudad de Cobán, Alta Verapaz. Se obtuvo la precipitación media anual y la temperatura promedio de las máximas y mínimas para un período de 10 años (14).

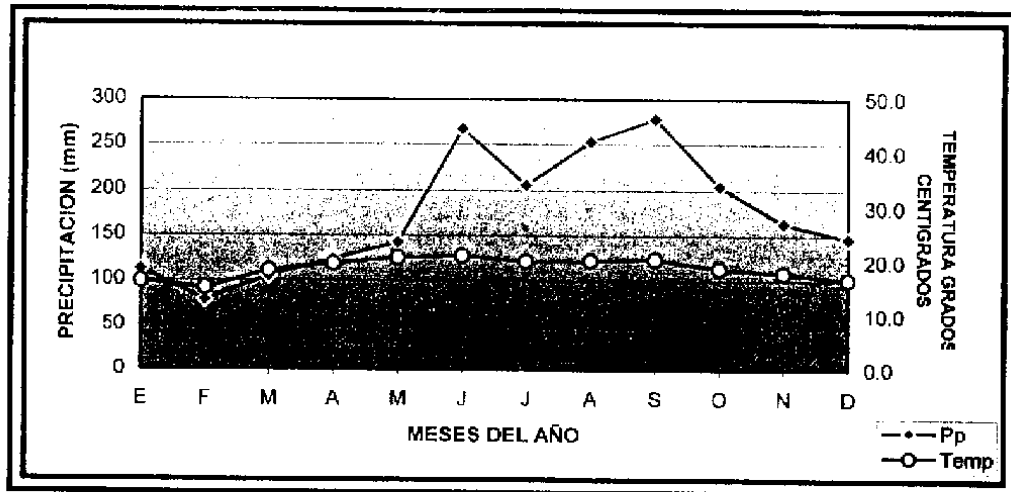
En el Cuadro 2 se presenta un resumen de la precipitación y las temperaturas medias, seguidamente, en la Figura 3 se presenta el climadiagrama correspondiente al área dónde se realizó el estudio:

**Cuadro 2.** Datos de temperatura y precipitación media mensual de la estación meteorológica de Cobán, en el período 1,986 -1,996.

Pp	Ener	Feb	Marz	Abril	May	Junl	Julló	Agós	Sept	Octu	Nov	Dic	PROM	TOT ANUAL
Mm	112.0	78.3	105.2	123.5	142.3	267.1	205.7	253.3	278.4	204.4	163.0	146.6		<b>2079.5</b>
T °C	16.5	15.3	16.5	19.8	20.9	21.3	20.2	20.3	20.6	18.9	18.0	16.9	<b>18.9</b>	

Fuente : INSIVUMEH (14)

Como se observa en el Cuadro 2, en este período se presentó una precipitación total anual de 2,079 mm y una temperatura media anual de 18.9° C. La relación de estas variables se muestran en la Figura 3.



Fuente: Datos INSIVUMEH

**Figura 3.** Climadiagrama del área de estudio, correspondiente a la estación meteorológica de Cobán, Alta Verapaz en el período 1,986 -1,996.

En la Figura 3, se puede observar que en este período existe una leve variación de la temperatura, siendo de mayo a septiembre la época más calurosa, empezando a descender a partir de octubre, hasta enero y febrero, que son los meses más fríos del año. La precipitación pluvial muestra una tendencia ascendente a partir de marzo, hasta llegar a su máximo nivel en septiembre, que es el mes más lluvioso y a partir del cual empieza a descender hasta febrero, siendo éste el mes más seco del año. Pero aún con estas variaciones, esta región se mantiene constantemente húmeda y no se presenta déficit de lluvias.

### 3.2.5 Geología y Fisiografía

Los departamentos de Alta y Baja Verapaz se encuentran en la provincia fisiográfica de la Cordillera Central, que se extiende a través de la parte central del país. Se presenta como una faja de rocas plutónicas, metamórficas y sedimentarias plegadas. La parte Sur de esta franja consiste de rocas metamórficas y plutónicas, incluyendo esquistos, gneisses, mármoles, serpentinitas y granitos. Las rocas metamórficas disminuyen en abundancia hacia el Norte, al pasar las rocas cristalinas gradualmente hacia la faja de sedimentos plegados, donde se han reconocido rocas de edades desde el Pesilvánico superior hasta el Terciario. El núcleo cristalino de la cordillera se localiza entre dos sistemas mayores de falla; en estas dos zonas de rocas fuertemente dislocadas, se encuentran los valles profundamente labrados de los ríos Motagua y Polochic (11).

Entre los materiales geológicos presentes en los departamentos se incluyen: formaciones Cayo, Armas, Caribe, Herrería, Bacalar y White Maris (Tsp); aluviones cuaternarios (Qa); rocas de carbonato Neocomiano, incluyen formaciones Cobán, Ixcoy, Campur, Sierra Madre y Grupo Yojoa (Ksd); formación Subinal (Kfs); formaciones Santa Rosa, Sacapulas, Tactic y Macal (CPsr); Rocas metamórficas sin dividir, filitas esquistos cloríticos y granatíferos, esquistos gneisses de cuarzo-mica-feldespato, mármol y migmatitas (Pzm); Rocas plutónicas sin dividir, incluyen granitos y dioritas de edad Pre-pérmico, Cretáceo y Terciario. (I); formación Chochal (Carbonatos Pc) (11).

Respecto a la fisiografía ambos departamentos se encuentran dentro de las regiones fisiográficas denominadas: Tierras Altas Cristalinas; formada por serpentinitas, gneisses metamórficos y esquistos como dominantes, apareciendo algunas áreas de material plutónico, principalmente granito. Esta área se ubica dentro de dos principales sistemas de fallas que han estado en evolución desde el Paleozoico. El patrón de drenaje a través de la región es muy ilustrativo, ya que los cursos de los ríos Cuilco, Chixoy y Motagua están controlados por las diversas fallas existentes (11).

Las Tierras Altas Sedimentarias tienen una gran variedad de formas de la tierra, entre las cuales puede mencionarse la sección compleja localizada al Norte de la sierra de Chamá, cuyos pliegues, fallas y procesos erosivos han creado un paisaje de colinas paralelas, topografía kárstica, anticlinales y sinclinales sumergidos. El área alrededor de Cobán muestra ejemplos clásicos de sumideros, conocidos localmente como "siguanes", así como cavernas de piedra caliza. El drenaje en el Oeste tiene una dirección Norte-Noreste hacia el Golfo de México.

### 3.2.6 Edafología e Hidrología

De acuerdo con Simmons, Tárano y Pinto (21), los suelos del departamento de Alta Verapaz han sido divididos en 19 unidades que consisten en 18 series de suelos y un terreno misceláneo. Por conveniencia para la Clasificación han sido divididos en tres grupos amplios: Suelos de los Cerros, Suelos de las Tierras Bajas del Petén-Caribe y Clases Misceláneas de terreno. Los suelos en los grupos I y II han sido divididos en subgrupos según la profundidad, la clase de material madre y el drenaje.

Los suelos correspondientes al departamento de Baja Verapaz los dividieron en 15 unidades que consisten en 13 series de suelos, una fase de suelo y una clase de terreno misceláneo. Los suelos han

sido divididos en cuatro grupos amplios: I. Suelos del altiplano Central, II. Suelos de los Cerros de Caliza, III. Suelos de las Tierras Bajas de Petén-Caribe, y IV. Clases Misceláneas de Terreno.

El sistema de drenaje no es completo; sin embargo, las corrientes de agua y grietas subterráneas son comunes, de manera que los lugares de suelos mal drenados son relativamente pocos. La mayor parte de las regiones Sur y Este, alrededor de la unidad de área, desagua en el Mar de las Antillas por los ríos Polochic y Sarstún; y las partes Norte y Oeste, en el Golfo de México a través del río Usumacinta. (12)

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 GENERAL

- 4.1.1 Elaborar tablas de distribución del volumen por producto para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E.Moore en el área de distribución natural de la especie, en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.

### 4.2 ESPECIFICOS

- 4.2.1 Desarrollar mediante técnicas de regresión, modelos matemáticos para estimar la distribución del volumen por producto y el volumen total con corteza para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.
- 4.2.2 Elaborar a partir de los modelos matemáticos seleccionados, tablas de distribución del volumen por producto y tablas de volumen total con corteza para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E.Moore.

## 5. METODOLOGIA

### 5.1 UBICACION DEL AREA DE ESTUDIO

La fase de campo de la investigación se realizó en fincas forestales que contaban con la presencia, en forma natural, de la especie *Pinus maximinoi* H.E. Moore. Estas fincas se ubican en la zona de vida Bosque Muy Húmedo Sub-tropical Frio -*bmh S(f)*-, que es la zona de vida donde esta especie encuentra su principal distribución natural en el país, además, es una especie indicadora. Geográficamente las áreas de muestreo se localizan en las coordenadas presentadas en el Cuadro 3 e ilustradas en la Figura 4.

**Cuadro 3.** Ubicación geográfica y altitudinal de las áreas de muestreo en los departamentos de Alta y Baja Verapaz.

No.	FINCA	UBICACIÓN	COORDENADAS GEOGRAFICAS	ALTITUD msnm
1	Cuxmax	San Pedro Carchá, A.V.	Lat 15°29'16"N Long 90°12'10"O	1,360
2	Rosario de Fátima	San Pedro Carchá, A.V.	Lat 15°29'12" N Long 90°16'36"O	1,351
3	Cañada del Naranjo	San Cristóbal Verapaz, A.V.	Lat 15°17'40" N Long 90°27'15"O	1,785
4	Chimaxpop	Tactic, Alta Verapaz.	Lat 15 °18'19"N Long 90°22'53"O	1,550
5	Bombacho	Santa Cruz Verapaz, A.V.	Lat 15°18'00" N Long 90°25'00"O	1,740
6	Chió	San Juan Chamelco, A.V.	Lat 15°25'40" N Long 90°20'15"O	1,340
7	Santa Isabel	Salamá, Baja Verapaz.	Lat 15° 9'18"N Long 90°12'42"O	1,780

Msnm = metros sobre el nivel del mar.

### 5.2 MUESTREO

Para la selección de los rodales en cada una de las fincas se utilizaron los siguientes criterios: Rodales puros, es decir solamente con árboles de la especie estudiada; y sin intervenciones recientes. En su mayoría los rodales fueron coetáneos, con características homogéneas en su conformación y edad. Eventualmente se intervinieron rodales discetáneos, para tener representatividad de las categorías diamétricas mayores y menores. Además, estos rodales presentaban una "densidad normal", (término cualitativo utilizado para definir la ocupación completa de un sitio, por una masa forestal).



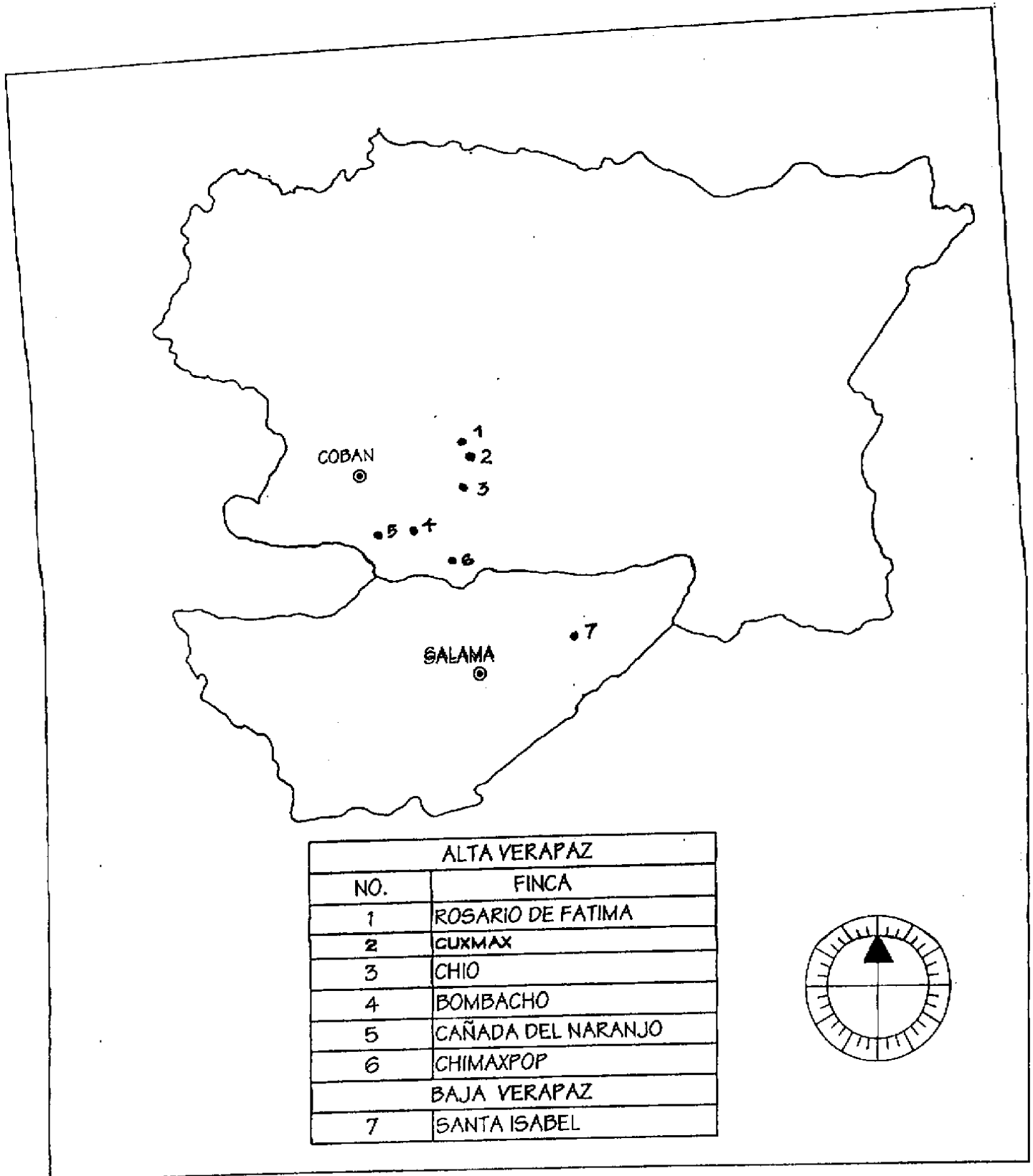


Figura 4. Localización de áreas de muestreo en la región de estudio, departamentos de Alta y Baja Verapaz.

Escala  
1 : 100,000

No se definió un tipo de muestreo estadístico, debido a que el estudio se dirigió a la cuantificación de los productos a nivel de árbol individual y no a nivel de rodal. Para captar de manera confiable la información, se consideraron ciertas características que debían cumplir los árboles para poder ser seleccionados como árboles muestra, tales como:

1. Que presentaran fustes rectos, sin malformaciones, ni indicios de resinación o quema.
2. Que no presentaran daños físicos provocados por factores naturales, como rayos o incendios.
3. Que su desarrollo fuera bajo condiciones naturales.
4. Que fueran representativos de la clase diamétrica a la que pertenecían, es decir, que si la categoría diamétrica buscada era entre 30-35 cm de DAP, el árbol debía estar entre ese rango.

Para los fines y objetivos de este trabajo, solamente se hizo un muestreo de árboles con fuste recto. Sobre la base de estos criterios y características, se decidió utilizar un **muestreo selectivo**; al respecto se puede indicar, que el empleo de un muestreo de árboles por tamaño es más eficiente que un muestreo al azar, porque éste último tiende a incluir muchos árboles pequeños y pocos árboles grandes, lo cual no sería representativo para los fines de este estudio.

De acuerdo con lo anterior, se establecieron 14 categorías diamétricas (C.D.), con intervalos de 5 cm a partir de 10 cm hasta 80 cm de DAP con corteza (c.c.) a fin de tener mayor representatividad de la población; y se estimó derribar como mínimo 3 árboles por cada categoría diamétrica, haciendo finalmente un total de 58 árboles muestreados, como se presenta en el Cuadro 4.

**Cuadro 4.** Características de los árboles muestra de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

C.D. c.c.	Arboles Muestra	Diámetro cm con corteza		Altura total en metros	
		Promedio	Rango	Promedio	Rango
10	3	13.7	12.8 - 14.8	9.88	9.60 - 10.20
15	4	17.8	15.7 - 20.0	13.01	10.90 - 15.90
20	3	21.5	20.9 - 22.1	15.20	11.70 - 18.90
25	4	26.5	25.3 - 28.5	16.75	13.30 - 18.90
30	6	33.6	32.5 - 34.6	25.75	20.80 - 32.10
35	4	37.2	35.2 - 39.5	24.20	21.30 - 26.80
40	4	42.5	40.5 - 44.2	27.85	20.50 - 33.90
45	5	46.7	45.0 - 48.8	32.84	24.50 - 39.60
50	4	52.1	50.6 - 54.0	28.75	23.60 - 33.10
55	5	55.8	55.1 - 57.0	27.90	25.50 - 31.60
60	5	63.0	61.7 - 63.5	29.96	25.60 - 39.30
65	4	68.4	67.5 - 69.5	27.60	24.50 - 31.80
70	3	72.5	71.5 - 74.0	27.33	25.30 - 30.90
75	4	78.7	77.5 - 79.5	31.80	25.80 - 39.80
<b>TOTAL</b>	<b>58</b>	<b>Arboles</b>			

### 5.3 INFORMACION OBTENIDA

A los árboles seleccionados dentro de cada categoría diamétrica y previo al apeo, se les midió el diámetro a 1.30 m y luego se procedió a derribarlo a una altura de 0.30 m. Las variables medidas a cada árbol fueron las siguientes:

#### 5.3.1 Variables primarias

Tumbado y desramado el árbol, se registraron las siguientes mediciones a lo largo del fuste y las variables primarias medidas a cada árbol fueron las siguientes:

- **Altura total del fuste en metros:** Se midió con cinta métrica, desde el tocón hasta el meristemo apical.
- **Diámetros a diferentes longitudes del fuste en centímetros:** Estas mediciones se hicieron con forcípula o con cinta diamétrica a cada 2 m, a partir del DAP (3.3, 5.3, 7.3, 9.3 m, etc.); hasta llegar a los diámetros definidos de 20 cm y luego de 10 cm; continuando hasta la punta del fuste.

Además, se midió el diámetro del tocón. Vale mencionar que no fue necesario trocear los árboles durante la toma de datos, ya que bastó con marcar los puntos donde se realizaron las lecturas.

- **Volumen estéreo de ramas:** Para la medición de la leña de ramas por árbol individual, se apiló la leña formando metros estéreos para poder facilitar su cuantificación. Entendiendo como metro estéreo el volumen ocupado por piezas de madera de un metro de largo apiladas sobre un metro de ancho y un metro de alto. Cabe mencionar que en el área de estudio la medida comercial de leña es el metro cuadrado (1 m de alto x 1 m de ancho x 0.8 m de largo).

#### 5.3.2 Variables derivadas

Para calcular los volúmenes a partir de la información obtenida de las variables primarias, se siguió el siguiente procedimiento:

- **Volumen de troza:** Se consideró como troza la parte aserrable del árbol, desde la parte basal del fuste hasta un diámetro mínimo de 20 cm. Para el cálculo de volumen de troza se utilizó la fórmula de Smalian, tal como se muestra en el Cuadro 5. El volumen del tocón, se calculó con la fórmula del cilindro.

- **Volumen de trocillo:** Se consideró como trocillo, la sección del fuste que por sus dimensiones (de un diámetro máximo de 20 cm hasta un mínimo de 10 cm) no permite su procesamiento para la producción de tabla, sin embargo, puede destinarse a un proceso de transformación más eficiente, que a su simple utilización como leña (fabricación de tablex, paletas quirúrgicas y palillos, principalmente). Al igual que para la troza, se utilizó la fórmula de Smalian para el cálculo de volumen.
- **Volumen de leña:** La punta del fuste, que comprende diámetros menores a los 10 cm, se consideró como volumen de leña, el cual se obtuvo con la fórmula del cono circular. La leña apilada de ramas de la copa se transformó de metros estéreo a metros cúbicos, por medio de un coeficiente de apilamiento (k), el cual estableció la relación entre ambos volúmenes.

El coeficiente de apilamiento se obtuvo de la siguiente manera: Se tomó una muestra de leña apilada (1/4 de metro estéreo), la cual fue sumergida en una pileta de volumen conocido y por medio del método del volumen desplazado se calculó su volumen sólido, para posteriormente referirlo al volumen de leña apilada total.

Los coeficientes de apilamiento que se obtuvieron fueron los siguientes: Para leña gruesa fue de 0.76 y para leña delgada (en palito) 0.32; esto indica que un 76% y un 32% del volumen estéreo en cada uno de los casos, corresponde a volumen sólido y lo restante a espacio vacío, respectivamente.

Estos coeficientes se multiplicaron por el volumen estéreo de ramas, y así poder obtener el volumen sólido. Este volumen sólido se consideró como leña de ramas, que juntamente con el volumen del fuste representó el volumen total de leña del árbol.

- **Volumen Total:** El volumen total con corteza se obtuvo de la suma de los volúmenes de cada producto (troza, trocillo y leña). Para obtener los volúmenes parciales por producto y el volumen total de cada árbol, se utilizaron las fórmulas que se muestran en el Cuadro 5.

**Cuadro 5.** Fórmulas utilizadas para la obtención del volumen total y por producto.

SECCIONES	ECUACIONES	NOMBRE
1. TOCON	$V = ABo \times L$	CILINDRO
2. INTERMEDIAS	$V = L / 2 \times (AB1 + AB2)$	SMALIAN
3. FUSTE TERMINAL	$V = L / 3 \times AB3$	CONO CIRCULAR
4. LEÑA DE RAMAS	$V = L \times A \times H \times K$	METROS CUBICOS

Donde:

V = Volumen en metros cúbicos

AB = Area basal ( $0.7854 \times D^2$ ) en metros cuadrados

L = Longitud de sección en metros

Abo = Utiliza el diámetro de la parte superior del tocón en centímetros

AB1 = Utiliza el diámetro inferior de la sección (el mayor) en centímetros

AB2 = Utiliza el diámetro superior de la sección (el menor) en centímetros

AB3 = Utiliza el diámetro medido en la base del cono en centímetros

K = Coeficiente de apilamiento

H = Altura de leña apilada en metros

A = Ancho de leña apilada en metros

- **Distribución del volumen por producto:** Se determinó en términos de porcentaje, para lo cual fue necesario dividir el volumen de cada producto (troza, trocillo y leña) entre el volumen total del árbol, multiplicando este valor por 100; este procedimiento se realizó para cada uno de los árboles muestra.

A continuación en la Figura 5, se ilustra la procedencia y se indican los diámetros mínimos de cada producto utilizados en esta investigación.

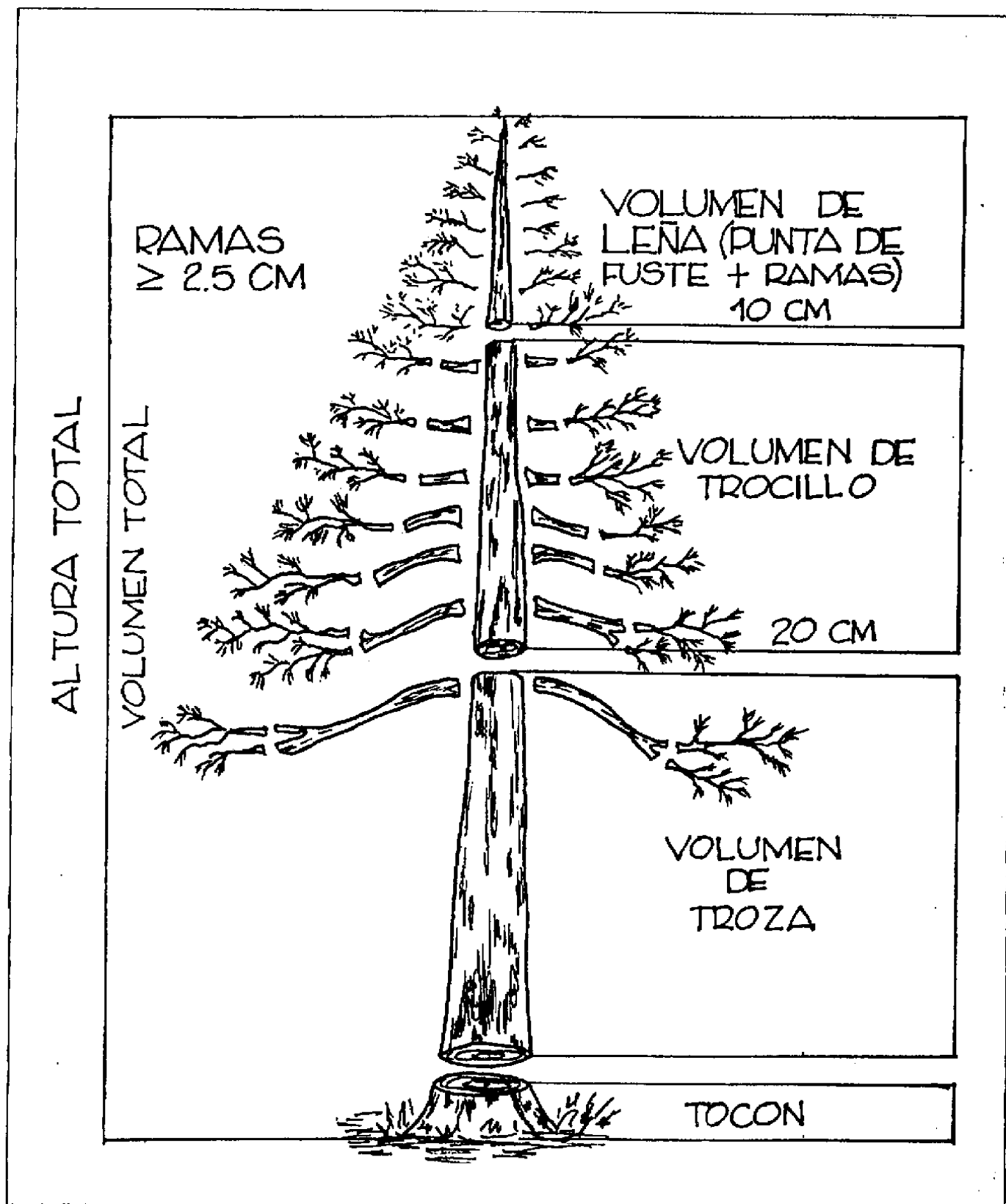


Figura 5. Procedencia de los diferentes productos y síntesis de diámetros mínimos utilizados en esta investigación.

#### 5.4 PROCESAMIENTO Y ANALISIS DE LA INFORMACION

La estimación de las proporciones de los productos y de los volúmenes con corteza se efectuó por medio de ecuaciones desarrolladas a través de análisis de regresión lineal múltiple, mediante la utilización del Paquete Estadístico SAS (Statistical Analysis System) tomando como base de datos la información de los 58 árboles muestra que generaron un total de 870 registros.

Inicialmente se procedió a obtener la dispersión de los valores reales de cada uno de los productos, con el propósito fundamental de observar la distribución de los mismos y con ello inferir en los posibles modelos que podrían explicar su comportamiento.

Posteriormente, a través de la técnica de mínimos cuadrados se generaron modelos matemáticos utilizando como variables dependientes los porcentajes por producto (troza, trocillo y leña) y el volumen total con corteza. Como variables independientes el DAP con corteza y la altura total, por ser los mejores estimadores del volumen para cada uno de los productos expresados en porcentaje y para el volumen total con corteza.

Los modelos matemáticos que fueron probados para medir la proporción de cada producto forestal, y los volúmenes totales con corteza, son los siguientes:

1.  $V = a + b \ln D + c \ln H$
2.  $V = a + b D H^2 + c D^2$
3.  $V = a + b H + c D^2 H$
4.  $V = a + b D H + c D^2 + d D H^2$
5.  $V = a + b D^2 + c H + d D^2 H$
6.  $V = a + b D^2 H$
7.  $V = a + b D^2 + c D H + d D^2 H$
8.  $V = a + b D H + c H + d D^2 H$
9.  $V = a + b H + c D^2 + d D^2 H$
10.  $V = a + b (1/D^2 H)$
11.  $V = a + b (1/D^2) + c (H/D^2) + d H$
12.  $V = a + b (1/D^2 H) + c (1/H) + d (1/D^2)$
13.  $V = a + b (1/D^2) + c (H/D) + d H$
14.  $V = a + b (1/D^2 H) + c (1/H) + d (1/D)$

$$15. V = a + b \ln H + cD + dH$$

$$16. V = a + bD + c \ln D + d \ln H$$

$$17. V = a + bD^2H + cD^3$$

Donde:

$V$  = Porcentaje (%) o Volumen total

$D$  = Diámetro en centímetros

$H$  = Altura total en metros

$a, b, c, d$  = parámetros de regresión estimados

$\ln$  = logaritmo natural

En este estudio se probaron los anteriores modelos matemáticos con y sin intercepto, haciendo un total de 34 modelos matemáticos. Buscando con esto, comparar y seleccionar los mejores modelos para la obtención de los porcentajes de troza, trocillo, leña y el volumen total con corteza, Basándose para ello, primeramente en el análisis de varianza de cada una de las regresiones a través de los siguientes indicadores:

- **Cuadrado medio del error (CME)**
- **Coefficiente de determinación ( $R^2$ )**
- **Coefficiente de variación (CV)**

Tomando en cuenta lo señalado por Cailliez (1980) (4), no se debe juzgar la calidad del ajuste de una regresión solamente por el valor numérico del coeficiente de determinación  $R^2$ , pues el ajuste puede ser malo y el valor de  $R^2$  elevado, o viceversa. El valor del coeficiente de variación CV, refleja porcentualmente la variación que los valores reales tienen con respecto a los valores que el modelo esperaría observar, y un modelo será más ajustado mientras su valor de coeficiente de variación sea mínimo.

En función de lo anterior, para una mayor confiabilidad, se comprobó el ajuste de cada uno de los modelos matemáticos, tanto para los porcentajes por producto, como para los volúmenes totales elegidos con las bases de datos de valores reales de campo, utilizando para ello los siguientes indicadores:



- **Error o desviación estándar de la estimación ( $S_{xy}$ )**

$$S_{xy} = \sqrt{\frac{\sum (V_r - V_e)^2}{n - 1}}$$

- **Desviación agregada (DA) o prueba de sesgo**

$$DA = \left( \frac{\sum V_r - \sum V_e}{\sum V_e} \right) \times 100$$

- **Desviación media (DM)**

$$DM = \left( \frac{\sum ((V_r - V_e) / V_e)}{n} \right) \times 100$$

- **Error estándar de estimación expresado en porcentaje ( $S_{xy}\%$ )**

$$S_{xy} (\%) = \left( \frac{S_{xy}}{\bar{V}} \right) \times 100$$

Donde:

DA = Desviación agregada en porcentaje

DM = Desviación media en porcentaje

$V_r$  = Volumen real en metros cúbicos

$V_e$  = Volumen estimado en metros cúbicos

$n$  = Número de árboles muestra

$\bar{V}$  = Volumen o porcentaje medio

Según Rodríguez (20), la desviación agregada es una indicación de la ausencia de sesgo en las tablas de volumen y no debe exceder el 1%; mientras que la desviación media indica la variabilidad esperada en los datos utilizados, y puede en algunas ocasiones alcanzar el 10%.

En síntesis, la selección de los modelos se basó por un lado en el análisis de los estimadores cuadrado medio del error CME, coeficiente de variación CV, y coeficiente de determinación  $R^2$  y por otro lado, a manera de tener un mejor criterio de selección, se utilizaron los siguientes estimadores: Desviación agregada DA, desviación media DM y el error estándar de estimación expresado en porcentaje  $S_{xy}\%$ .

Una vez evaluados y probados los modelos seleccionados en forma independiente, no se obtuvo al final un 100% de la sumatoria de productos, razón por la cual se procedió a realizar combinaciones con los modelos de cada producto, siendo ésta una alternativa favorable que permitió calcular los mejores modelos matemáticos en forma combinada.

## 5.5 DESPLIEGUE DE TABLAS

A partir de los modelos matemáticos seleccionados, se procedió a estimar los porcentajes de los diferentes productos forestales y los volúmenes totales con corteza, con los cuales se elaboraron y se desplegaron la tabla distribución del volumen por producto y la tabla de volumen total con corteza para árboles individuales.

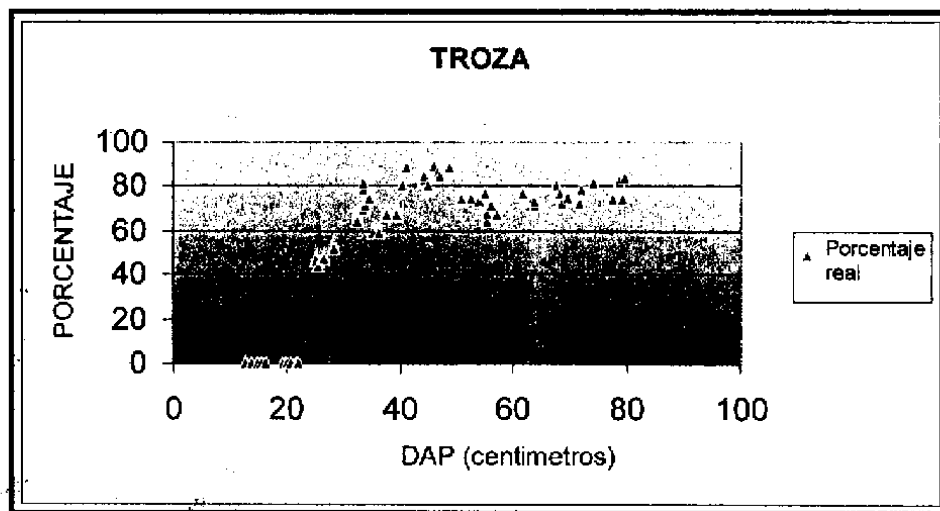
## 6. RESULTADOS Y DISCUSION

### 6.1 TABLA DE DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO

La base de datos inicial se obtuvo a partir de la cubicación de las diferentes secciones provenientes de cada uno de los árboles muestra, tal como se indicó en la metodología. Paralelamente estos volúmenes con corteza se dividieron entre cada uno de los productos forestales (troza, trocillo y leña), según las dimensiones establecidas, para luego ser expresados en porcentaje por producto.

#### 6.1.1 Dispersión de porcentajes reales por producto

Para visualizar y apreciar de una forma gráfica los porcentajes reales por producto obtenidos de los volúmenes parciales, se presentan a continuación los diagramas de dispersión de porcentajes reales de troza, trocillo y leña; en los cuales se observa el comportamiento de éstos en función del tamaño del árbol. Ver Figuras 6, 7 y 8.



**Figura 6.** Diagrama de dispersión de datos reales de porcentaje de troza de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

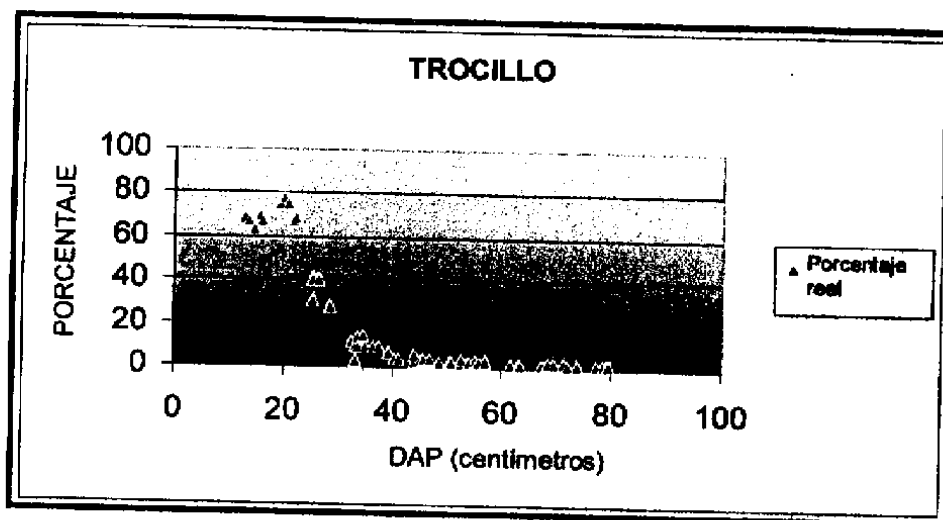


Figura 7. Diagrama de dispersión de datos reales de porcentaje de trocillo de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

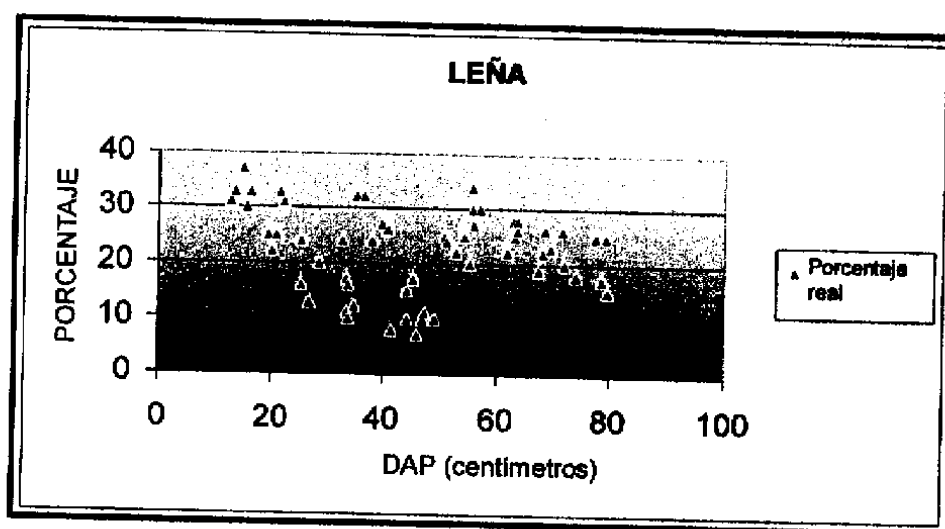


Figura 8. Diagrama de dispersión de datos reales de porcentaje de leña de *Pinus maximinoi* H.E. Moore.

En las Figuras 6, 7 y 8, se puede observar la distribución de los porcentajes reales de productos obtenidos de los árboles muestra de *Pinus maximinoi* H.E. Moore. Respecto a la distribución del porcentaje de troza, se aprecia un aumento en los datos de porcentaje al incrementar el DAP, siguiendo un comportamiento logarítmico. Para los datos de porcentaje de trocillo, se presenta una disminución del porcentaje a medida que aumenta el DAP, siguiendo nuevamente un comportamiento logarítmico, con tendencia uniforme sin valores dispersos. La dispersión de datos de porcentaje de leña se distribuye sin seguir una tendencia determinada.

Según Castellanos (5), este comportamiento es debido a la influencia de factores genéticos, a la calidad de sitio y a características de los rodales, entre las que destaca el espaciamiento.

### 6.1.2 Análisis de Regresión

Las bases de datos generadas para cada producto fueron sometidas a un análisis de regresión múltiple por el método de los mínimos cuadrados, mediante el cual se ajustaron los datos a cada uno de los modelos sujetos de evaluación y posteriormente, por medio de su respectivo análisis de varianza se seleccionaron los modelos para cada producto. Las variables dependientes contenidas en la base de datos fueron: Porcentajes de troza, trocillo y leña de cada uno de los 58 árboles muestra, en función del DAP y la altura total (variables independientes).

Los modelos matemáticos seleccionados preliminarmente para estimar los porcentajes de productos, junto con sus estimadores de variación y confiabilidad estadística se presentan en el Cuadro 6.

**Cuadro 6.** Resumen del análisis de varianza de la regresión de los modelos matemáticos seleccionados previamente, para ajustar los datos de porcentaje de troza, trocillo y leña.

Modelo porcentaje de Troza	Cuadrado medio del error CME	Prueba de F	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	Coefficiente de varianza
$\ln = b D + c \ln D + d \ln H$	0.1778	470.37	0.9995	2.20
$\ln = b \ln H + c D + d H$	0.1690	496.04	0.9995	2.27
$\ln = b \ln D + c \ln H$	0.1333	105.33	0.9984	4.06
$\ln = b D^2 + c H + d DH$	0.1508	91.60	0.9916	9.55
$\ln = b D^2 + c H + d D^2 H$	0.1413	147.07	0.9914	9.66
$\ln = b DH + c D^2 + d DH^2$	0.1793	467.24	0.9858	12.40
<b>Modelo porcentaje de Trocillo</b>				
$\ln = a + b \ln D + c \ln H$	0.1968	310.38	0.9186	26.04
$\ln = a + b \ln H + c D + d H$	0.2327	172.47	0.9055	28.32
$\ln = a + b D + c \ln D + d \ln H$	0.1993	204.44	0.9191	26.20
$\ln = b \ln H + c D + d H$	0.3575	262.61	0.9347	35.09
<b>Modelo porcentaje de Leña</b>				
$\ln = b \ln D + c \ln H$	0.3899	668.81	0.9598	20.57
$\ln = b \ln H + c D + d H$	0.1151	1555.80	0.9884	11.17
$\ln = b D + c \ln D + d \ln H$	0.1542	1156.50	0.9844	12.94

Ln = logaritmo natural  
D = Diámetro a la altura del pecho  
H = Altura total

Se eligieron de esta forma los modelos que presentaron los Coeficientes de variación CV y los Cuadrados medios del error CME con valores más bajos y los valores más elevados para el coeficiente de determinación  $R^2$  y F, como se observa en el Cuadro 6.

Posteriormente, estos modelos preliminares fueron sometidos a varias pruebas estadísticas a manera de brindar un mejor criterio de selección, pues se visualizó un buen resultado para más de un modelo matemático, como se observa en el Cuadro 7. Para tal efecto, se utilizaron los siguientes indicadores estadísticos: Prueba de sesgo o desviación agregada (DA), desviación media (DM) y el error estándar de estimación expresado en porcentaje (Sxy%).

**Cuadro 7.** Resumen de las pruebas a que fueron sometidos los mejores modelos matemáticos seleccionados previamente, para ajustar los datos de porcentaje de troza, trocillo y leña.

Modelo porcentaje de Troza	Desviación agregada DA	Desviación media DM	Desviación estándar Sxy	Error estándar de estimación
$\ln = b D + c \ln D + d \ln H$ *	0.1245	0.0852	6.7787	9.3025
$\ln = b \ln H + c D + d H$	0.3217	0.3614	6.8242	9.3649
$\ln = b \ln D + c \ln H$	0.0276	0.1678	6.9919	9.5951
$\ln = b D^2 + c H + d DH$	0.4101	0.8381	7.0346	9.6536
$\ln = b D^2 + c H + d D^2 H$	1.4313	2.9787	9.2368	12.6757
$\ln = b DH + c D^2 + d DH^2$	1.4631	3.7028	8.5252	11.6991
Modelo porcentaje de Trocillo				
$\ln = a + b \ln D + c \ln H$	3.0447	5.5285	20.1130	116.193
$\ln = a + b \ln H + c D + d H$	8.4475	10.8739	14.1468	81.726
$\ln = a + b D + c \ln D + d \ln H$ *	0.4740	9.1915	18.3185	105.826
$\ln = b \ln H + c D + d H$	40.5233	21.7205	13.5409	78.2259
Modelo porcentaje de Leña				
$\ln = b \ln D + c \ln H$	6.6768	29.9439	11.3234	50.7547
$\ln = b \ln H + c D + d H$ *	4.0657	5.9836	6.7812	30.3953
$\ln = b D + c \ln D + d \ln H$	4.5652	8.3163	8.0670	36.1570

\* Modelos seleccionados en forma independiente

$\ln$  = logaritmo natural

D = Diámetro a la altura del pecho

H = Altura total

Como se observa en el Cuadro 7, las pruebas a que fueron sometidos los modelos matemáticos elegidos inicialmente, indican cuales de ellos son los que reflejan un mayor ajuste a los datos reales. Sin embargo, luego de ser probados con los datos reales, surgió el inconveniente de que en forma agrupada no se obtenía el volumen total real en porcentaje, pues al hacer la suma de los porcentajes de troza, trocillo y leña de cada árbol, se presentaban valores sobrestimados o subestimados con respecto al 100% esperado.

Tomando en consideración esta situación, fue necesario realizar una serie de combinaciones con los mejores modelos elegidos anteriormente para cada producto (Cuadro 6 y 7); es decir, que se combinaron 6 modelos de troza, 4 modelos de trocillo y 3 modelos de leña, respectivamente, para hacer un total de 72 combinaciones a fin de generar la combinación de modelos matemáticos más próxima al porcentaje total de productos (100%).

### 6.1.3 Selección de modelos por medio de combinaciones

Para seleccionar la combinación de modelos con mejor ajuste, fue necesario aplicar un tipo de prueba que brindara un mejor criterio de selección, pues se visualizó un buen resultado para más de una combinación. Para tal efecto, se utilizaron nuevamente los siguientes indicadores estadísticos: Prueba de sesgo o desviación agregada (DA); desviación media (DM) y el error estándar de estimación expresado en porcentaje (Sxy%). Como se indica en el Cuadro 8.

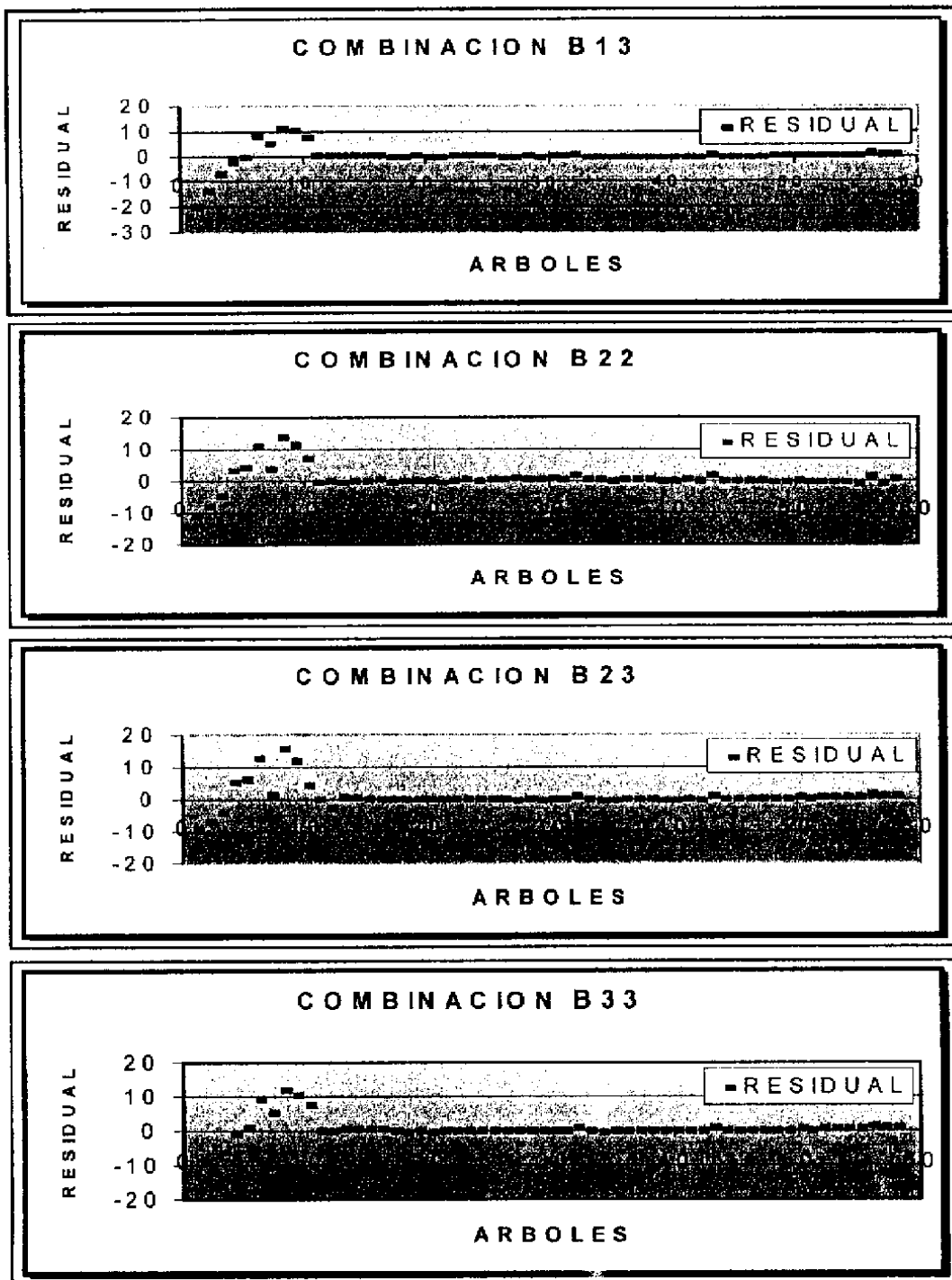
**Cuadro 8.** Combinaciones de modelos matemáticos con sus indicadores estadísticos, para ajustar los datos de porcentaje de troza, trocillo y leña.

Combinaciones	Desviación agregada DA	Desviación media DM	Error estándar de estimación Sxy%
B13	0.7004	0.7201	1.3921
B22	0.5630	0.6092	2.1310
B23 *	0.2067	0.2490	2.1058
B33	0.5887	0.6086	1.3983

\* Combinación elegida

Al ser sometidas a un análisis cuantitativo y visual, se eligió la Combinación B23. Dicha combinación fue seleccionada debido a que muestra una exactitud aceptable, con una desviación agregada (DA) que indica un sesgo en la tabla de 0.21%, la cual no sobrepasa el valor máximo permisible de 1%; una desviación media (DM) que indica una variabilidad en los datos utilizados de 0.25%, muy por debajo del 10% permisible y un error estándar de estimación en porcentaje por debajo del 12% permitido; tomando como referencia lo citado por Rodríguez (20).

Otro criterio que se utilizó para poder elegir la combinación de modelos con un mejor ajuste a los datos reales de porcentajes totales, fue la prueba del análisis gráfico de residuales estandarizados, que se aplicó a los 58 datos de totales estimados, de cada una de las 72 combinaciones calculadas previamente (Figura 9).



**Figura 9.** Dispersión de residuales estandarizados de las combinaciones con valores de mejor ajuste



Como puede observarse en la Figura 9, los datos estimados de porcentaje total de las 5 mejores combinaciones preliminares, sufren un desajuste significativo en función de los datos reales a partir de los primeros 10 árboles muestra (ordenados en forma ascendente), que corresponden a los árboles con DAP entre 12 y 25 cm, respectivamente.

Esto es consecuencia del ajuste del modelo de trocillo, el cual sobrestima los porcentajes en los primeros 10 árboles, debido a que la tendencia de los porcentajes reales de trocillo es inversamente proporcional al tamaño del árbol. Sin embargo, como se puede observar en estas dispersiones de residuales estandarizados (Figura 9), existe un buen ajuste de los modelos combinados a partir de árboles con 25 cm de DAP en adelante.

Al analizar visualmente los gráficos de residuales de la Figura 9, nuevamente la combinación B23 es la que presenta un mejor ajuste. Lo que indica que la relación entre datos estimados y datos reales en su mayoría, son explicados por esta combinación de modelos. La combinación elegida finalmente con sus respectivos modelos matemáticos por producto para un nivel de significancia del 95%, es presentada en el Cuadro 9.

**Cuadro 9.** Modelos matemáticos que representan los porcentajes de troza, trocillo y leña, en árboles de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en Alta y Baja Verapaz.

PRODUCTO	MODELOS MATEMATICOS	COEFICIENTES
Porcentaie de Troza	$\ln = b \ln H + c D + d H$	b = 1.654835 c = 0.000422 d = - 0.043198
Porcentaie de Trocillo	$\ln = a + b \ln H + c D + d H$	a = 10.318851 b = - 2.391644 c = - 0.058462 d = 0.064263
Poncentaie de Leña	$\ln = b D + c \ln D + d \ln H$	b = - 0.046817 c = 2.750181 d = - 1.598876

Ln = logaritmo natural

D = Diámetro a la altura del pecho

H = Altura total

a,b,c,d = parámetros de regresión estimados

#### **6.1.4 Despliegue de tablas de distribución del volumen por producto**

Con los modelos matemáticos seleccionados se procedió a calcular los porcentajes de los diferentes productos forestales, para luego hacer el despliegue de las tablas de distribución del volumen por producto. Estas tablas son de doble entrada, cuyas variables son el DAP con corteza en centímetros y altura total en metros.

Para la construcción de estas tablas, debe considerarse que para los árboles de 10 a 24 cm de DAP y de 9 a 29 metros de altura, se utilizaron los porcentajes promedios de los valores reales; esto se debió a que los porcentajes estimados por los modelos matemáticos seleccionados no se ajustaron a los valores reales.

Los porcentajes por producto de árboles mayores a los 24 cm de DAP y alturas desde 13 m en adelante, se obtuvieron a partir de los modelos matemáticos seleccionados. Es decir que estas tablas son válidas para árboles con DAP mayores o iguales a 25 cm.

Vale mencionar que, en forma agrupada para algunos casos no se obtuvo un valor real del volumen total del árbol (100%); por lo que se procedió a realizar una distribución proporcional del porcentaje total y de esta forma obtener como resultado una sumatoria igual al 100%.

La representación tabular del modelo, es decir, la tabla de distribución del volumen por producto para árboles individuales generada a partir de los modelos seleccionados previamente, se presenta en el Cuadro 10.

**Cuadro 10.** Tabla de Distribución del Volumen por Producto de *Pinus maximinoi* H.E. Moore para Alta y Baja Verapaz.

DAP CM	ALTURA TOTAL DEL FUSTE EN METROS																
	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41
C.C.	PORCENTAJE DE PRODUCTOS (%)																
10	Tz	0	0	0	0	0											
	Tc	0	0	0	0	0											
	Lñ	100	100	100	100	100											
12	Tz	0	0	0	0	0											
	Tc	70	70	70	70	70											
	Lñ	30	30	30	30	30											
14	Tz	0	0	0	0	0	0	0									
	Tc	66	66	66	66	66	66	66									
	Lñ	34	34	34	34	34	34	34									
16	Tz	0	0	0	0	0	0	0									
	Tc	66	66	66	66	66	66	66									
	Lñ	34	34	34	34	34	34	34									
18	Tz	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	Tc	66	66	66	66	66	66	66	66	66							
	Lñ	34	34	34	34	34	34	34	34	34							
20	Tz	0	0	0	0	0	0	0	0	0							
	Tc	75	75	75	75	75	75	75	75	75							
	Lñ	25	25	25	25	25	25	25	25	25							
22	Tz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	Tc	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75					
	Lñ	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25					
24	Tz	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0					
	Tc	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75	75					
	Lñ	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25	25					
26	Tz				45	52	59	64	68	72	74	75	77	78			
	Tc				26	23	20	18	16	15	14	14	13	13			
	Lñ				29	25	21	18	16	13	12	11	10	9			
28	Tz				62	69	64	68	72	74	76	77	79	80	81	82	82
	Tc				20	17	16	15	13	13	12	12	11	11	11	11	11
	Lñ				28	24	20	17	15	13	12	11	10	9	8	7	7
30	Tz				52	58	64	68	72	74	76	78	79	80	81	82	82
	Tc				18	16	14	13	12	11	11	10	10	10	10	10	10
	Lñ				30	26	22	19	16	15	13	12	11	10	9	8	8
32	Tz				52	58	64	68	71	74	76	78	79	80	81	82	82
	Tc				16	14	12	11	11	10	10	9	9	9	9	9	9
	Lñ				32	28	24	21	18	16	14	13	12	11	10	9	9
34	Tz					58	64	68	72	74	76	78	78	80	81	82	82
	Tc					12	11	10	9	9	9	8	8	8	8	8	8
	Lñ					30	25	22	19	17	15	14	12	11	10	10	10
36	Tz					57	63	68	71	74	76	78	78	80	81	82	82
	Tc					11	10	9	8	8	8	7	7	7	7	7	7
	Lñ					32	27	23	21	18	16	15	13	12	11	11	11
38	Tz					57	62	67	71	74	76	78	80	81	82	82	82
	Tc					10	9	8	7	7	7	7	6	6	6	6	6
	Lñ					33	29	25	22	19	17	15	14	13	12	12	12

\* Tz (Troza %) =  $1.654835 \ln H + 0.000422 D - 0.043198 H$

\* Tc (Trocillo %) =  $10.318851 - 2.391644 \ln H - 0.058462 D + 0.064283 H$

\* Lñ (Leña %) =  $-0.046817 + 2.750181 \ln D - 1.598876 \ln H$

\* Válidas para árboles  $\geq$  a 25 cm de DAP

Cuadro 10 (Continuación....)

40	Tz	67	62	67	70	74	76	78	79	81	82	82	82
	Tc	9	8	7	7	6	6	6	6	6	6	6	6
	Lñ	34	30	26	23	20	18	16	15	13	12	12	12
42	Tz	62	67	70	73	76	78	80	81	82	82	82	82
	Tc	7	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	Lñ	31	27	24	21	19	17	15	14	13	13	13	13
44	Tz	82	67	70	73	76	78	79	82	83	84	84	84
	Tc	6	6	5	5	5	5	5	4	4	4	4	4
	Lñ	32	27	25	22	19	17	16	14	13	12	12	12
46	Tz	67	70	74	76	78	80	81	83	84	84	84	84
	Tc	5	5	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Lñ	28	25	22	20	18	16	15	13	12	12	12	12
48	Tz	67	70	73	76	78	79	81	82	83	84	84	84
	Tc	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	Lñ	29	26	23	20	18	17	15	14	13	12	12	12
50	Tz	67	70	74	76	78	80	82	83	84	84	84	84
	Tc	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Lñ	29	26	23	21	19	17	15	14	13	13	13	13
52	Tz	66	70	73	76	78	80	81	82	83	84	84	84
	Tc	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	Lñ	30	27	24	21	19	17	16	15	14	13	13	13
54	Tz	67	70	73	76	78	80	82	83	84	85	85	85
	Tc	3	3	3	3	3	3	2	2	2	2	2	2
	Lñ	30	27	24	21	19	17	16	15	14	13	13	13
56	Tz	67	71	74	77	79	81	82	83	84	85	85	85
	Tc	3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Lñ	30	26	24	21	19	17	16	15	14	13	13	13
58	Tz	67	71	74	77	79	81	82	83	84	85	85	85
	Tc	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Lñ	31	27	24	21	19	17	16	15	14	13	13	13
60	Tz	67	71	74	77	79	81	82	83	84	85	85	85
	Tc	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Lñ	31	27	24	21	19	17	16	15	14	13	13	13
62	Tz	67	71	74	77	79	81	82	83	84	85	85	85
	Tc	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	Lñ	31	27	24	21	19	17	16	15	14	13	13	13
64	Tz	67	71	74	78	80	82	83	84	85	85	85	85
	Tc	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Lñ	31	27	24	21	19	17	16	15	14	14	14	14
66	Tz	67	72	75	78	80	82	83	84	85	85	85	85
	Tc	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Lñ	31	27	24	21	19	17	16	15	14	14	14	14
68	Tz	69	73	76	78	80	82	83	84	85	86	86	86
	Tc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Lñ	30	26	23	21	19	17	16	15	14	13	13	13
70	Tz	69	73	76	78	80	82	83	84	85	86	86	86
	Tc	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	Lñ	30	26	23	21	19	17	16	15	14	13	13	13

$$* Tz (\text{Troza } \%) = 1.654835 \ln H + 0.000422 D - 0.043198 H$$

$$* Tc (\text{Trocillo } \%) = 10.318851 - 2.391644 \ln H - 0.058462 D + 0.064263 H$$

$$* Lñ (\text{Lefia } \%) = -0.046817 + 2.750181 \ln D - 1.598876 \ln H$$

\* Válidas para árboles  $\geq$  a 25 cm de DAP

### 6.1.5 Alcances y usos de tablas de distribución de volumen por producto

Las tablas de productos generadas en esta investigación se utilizarán para definir los productos primarios a extraer durante la formulación del plan de manejo, bajo la metodología del Modelo Centroamericano. Su aplicación se dirige a bosques naturales, generalmente puros (donde existen árboles de una sola especie); particularmente, para árboles individuales con corteza y fustes rectos, sin daños físicos causados por factores naturales o por el hombre, de la especie *Pinus maximinoi* H.E. Moore. Pueden ser utilizadas sin restricciones en bosques naturales de esta especie en Alta y Baja Verapaz, y de forma restringida en otras áreas bajo condiciones ecológicas y silvícolas similares.

A diferencia de las tablas de cubicación de leña de *Pinus pseudostrobus* Lindley, generadas por Hernández (16), estas tablas proporcionan el porcentaje por producto; en función de variables de fácil medición en el campo, como lo son, el DAP con corteza y la altura total. Utilizando la tabla de volumen total generada en esta investigación juntamente con la tabla de productos, puede calcularse el volumen en metros cúbicos, no solamente de leña, sino también de troza y trocillo para árboles desde 10 cm hasta 70 cm de DAP.

Las proporciones de productos que se obtuvieron en este estudio son diferentes a las tablas de productos generadas en Honduras para *Pinus oocarpa* Schiede, por el Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal -CEMAPIF- (22), lo anterior se evidencia al comparar los porcentajes de productos obtenidos en cada uno de los estudios, para árboles de un mismo tamaño, como se muestra en el Cuadro 11.

**Cuadro 11.** Comparación de porcentajes de productos obtenidos en este estudio y los obtenidos por el CEMAPIF en Honduras.

<b>Estudio</b>	<b>DAP</b>	<b>Troza</b>	<b>Trocillo</b>	<b>Leña</b>
Presente estudio	46 cm	80%	4%	16%
CEMAPIF (1995)	46 cm	82%	12%	6%

Las diferencias probablemente se deban, por un lado, a que las especies son diferentes, evaluadas bajo condiciones distintas y particularmente en el estudio realizado por el CEMAPIF (22), no se cuantificó la leña obtenida de ramas, la cual hace una subestimación del trabajo.

## 6.2 TABLA DE VOLUMEN PARA ARBOLES INDIVIDUALES

La tabla de volumen total para árboles individuales, surgió de la necesidad de contar con una herramienta que sirviera para calcular los volúmenes en metros cúbicos de los productos (troza, trocillo y leña), basándose en los porcentajes obtenidos por la tabla de productos que se generó también en este estudio.

### 6.2.1 Análisis de Regresión

La base de datos la constituyeron 58 registros de volumen total con corteza, más ramas. Estos datos fueron sometidos a un análisis de regresión por el método de los mínimos cuadrados. Para la comparación y selección del modelo, fueron tomados los mismos criterios utilizados para el caso de las tablas de productos.

Para el presente caso se procedió a comparar y seleccionar los modelos que se consideraron con mayores probabilidades estadísticas de ajuste a una dispersión real de valores obtenidos en el campo, tomando en cuenta los indicadores numéricos proporcionados por el análisis de varianza de la regresión de cada uno de los modelos. El resumen de los análisis de varianza practicados a cada uno de los modelos, se presenta a continuación en el Cuadro 12.

**Cuadro 12.** Resultados del análisis estadístico de algunos de los mejores modelos, efectuado para obtener la tabla de volumen para árboles individuales.

Modelos Tabla de Volumen	Cuadrado medio del error CME	Prueba de F	Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	Coefficiente de variación CV
$\text{Vol} = a + b D^2 + c DH + d D^2 H$	0.09051	1099.36**	0.984	10.83
$\text{Vol} = b D^2 + c DH + d D^2 H$	0.08961	2774.90**	0.993	10.77
$\text{Vol} = a + b D^2 + c H + d D^2 H$	0.09106	1092.55**	0.984	10.86
$\text{Vol} = b D^2 + c H + d D^2 H$	0.08956	2776.57**	0.993	10.77
$\text{Vol} = b D^2 H + c D^2$	0.08802	4237.29**	0.993	10.68

\*\* Altamente significativo con una probabilidad de <math>\leq 0.01\%</math>

Vol = Volumen total

D = Diámetro a la altura del pecho

H = Altura total

a,b,c,d = parámetros de regresión estimados

En general, observando los valores del Cuadro 12, se puede notar que los modelos preliminares presenta buenos estimadores; tomando en cuenta el coeficiente de determinación  $R^2$  de éstos, puede observarse que superan el valor de 0.98, lo que implica que el 98% de la variabilidad de los datos es explicada por el modelo; los valores del coeficiente de variación CV, al igual que el cuadrado medio del error CME, fueron los más bajos, con respecto a los demás modelos. Una alta significancia en la prueba de F(0.0001), demuestra que los modelos son adecuados para estimar los volúmenes totales.

### 6.2.2 Selección del modelo

Para seleccionar el modelo matemático definitivo, los modelos matemáticos preliminares fueron sometidos a otras pruebas estadísticas con el fin de brindar un mejor criterio de selección, pues se visualizó un buen resultado para más de un modelo matemático.

Para tal efecto, al igual que para las tablas de productos, se utilizaron los siguientes indicadores estadísticos: Prueba de sesgo o desviación agregada (DA), desviación media (DM) y el error estándar de estimación expresado en porcentaje (Sxy%). Los resultados de estas pruebas se presentan en el Cuadro 13.

**Cuadro 13.** Indicadores estadísticos utilizados para seleccionar el modelo matemático definitivo para representar el volumen total con corteza.

Modelos Tabla de Volumen	Desviación estándar Sxy	Error estándar de estimación Sxy%	Desviación agregada DA	Desviación media DM
$Vol = a + b D^2 + c DH + d D^2 H$	0.3008	10.830	0.0060	122.096
$Vol = b D^2 + c DH + d D^2 H$	0.2993	10.776	0.3068	4.295
$Vol = a + b D^2 + c H + d D^2 H^*$	0.3017	10.860	0.0047	1.789
$Vol = b D^2 + c H + d D^2 H$	0.2993	10.773	0.1312	3.018
$Vol = b D^2 H + c D^2$	0.2966	10.680	0.2568	4.020

\* Modelo de volumen seleccionado

Vol = Volumen total

D = Diámetro a la altura del pecho

H = Altura total

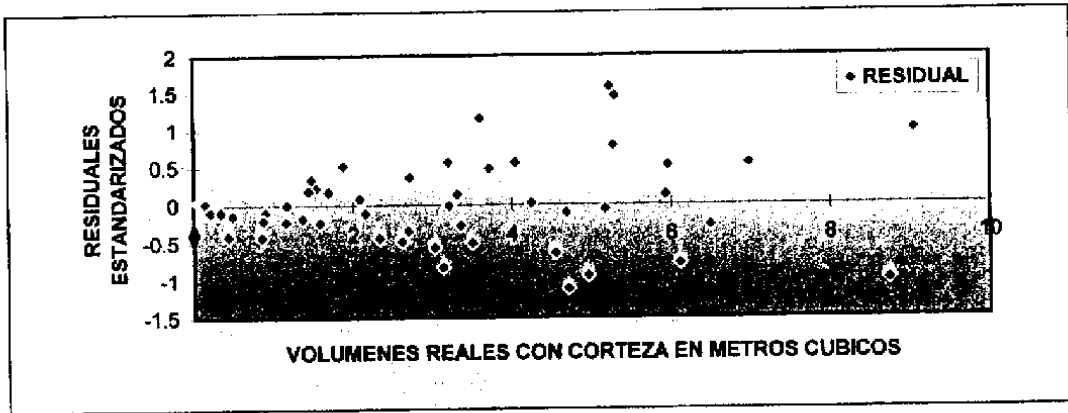
a,b,c,d = parámetros de regresión estimados

Según los criterios estadísticos a que fueron sometidos los modelos, se optó por seleccionar el tercer modelo (Cuadro 13), el cual mostró una exactitud aceptable, con una desviación agregada (DA) que indica un sesgo en la tabla de 0.0047%, que no sobrepasa el valor máximo permisible de 1%; una desviación media (DM), que indica una variabilidad en los datos de 1.79%, se mantuvo muy por debajo del máximo valor permisible, que es el 10%; un error estándar de estimación expresado en

porcentaje del volumen medio (Sxy%) de 10.86%, que está por debajo del 12% permitido, tomando como referencia lo citado por Rodríguez (20).

Otro criterio utilizado para asegurar un buen ajuste del modelo propuesto, es el análisis gráfico de residuales estandarizados. A través de este análisis gráfico, se puede validar el ajuste de los datos, considerando un rango permisible de aceptación de valores residuales entre +2 y -2, según lo indicado por Martínez, A. et. al. (17).

En la gráfica de residuales (Figura 10), se observa que la dispersión de los residuales en el modelo seleccionado es adecuada y está dentro del rango permisible.



**Figura 10.** Diagrama de dispersión de residuales estandarizados para el modelo seleccionado de volumen total con corteza para *Pinus maximinoi* H.E. Moore en Alta y Baja Verapaz.

A continuación se presenta el modelo seleccionado con sus respectivos coeficientes para un nivel de significancia del 95%.

**Cuadro 14.** Modelo matemático elegido para la elaboración de la Tabla de Volumen para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en Alta y Baja Verapaz.

MODELO MATEMATICO	COEFICIENTES
$\text{Vol} = a + b D^2 + c H + d D^2 H$	<ul style="list-style-type: none"> <li>• a = -0.051595</li> <li>• b = 0.000233</li> <li>• c = 0.001554</li> <li>• d = 0.000031983</li> </ul>

Vol = Volumen total  
 D = Diámetro a la altura del pecho  
 H = Altura total  
 a,b,c,d = parámetros de regresión estimados



### 6.2.3 Despliegue de Tabla de Volumen

La tabla de volumen total que se obtuvo de este estudio es de doble entrada y considera el volumen total con corteza, incluyendo el volumen de ramas hasta un diámetro mínimo de 2.5 cm. Teniendo como variables, el DAP con corteza en centímetros y la altura total en metros. Es de fácil interpretación, apareciendo al pie de la misma el modelo matemático que le dio origen, lo que facilita la obtención de los volúmenes de árboles cuyas dimensiones no se hayan incluido en las tablas.

A continuación en el Cuadro 15 se despliega la Tabla de Volumen Total para árboles individuales con corteza, que incluye el volumen de fuste y ramas, expresado en metros cúbicos.

**Cuadro 15.** Tabla de Volumen Total para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, en Alta y Baja Verapaz (volumen con corteza en m<sup>3</sup>).

DAP cm cc	ALTURA TOTAL EN METROS																
	9	11	13	15	17	19	21	23	25	27	29	31	33	35	37	39	41
	VOLUMEN EN METROS CUBICOS																
10	0.0145	0.0240	0.0335	0.0430	0.0525	0.0620	0.0715	0.0810	0.0905	0.1000							
12	0.0374	0.0497	0.0620	0.0744	0.0867	0.0990	0.1113	0.1236	0.1359	0.1483	0.1606						
14	0.0645	0.0801	0.0958	0.1114	0.1271	0.1427	0.1583	0.1740	0.1896	0.2053	0.2209	0.2366					
16	0.0957	0.1152	0.1347	0.1542	0.1737	0.1931	0.2126	0.2321	0.2516	0.2711	0.2906	0.3100	0.3295				
18	0.1311	0.1550	0.1788	0.2026	0.2265	0.2503	0.2741	0.2980	0.3218	0.3456	0.3695	0.3933	0.4171	0.4410			
20	0.1707	0.1994	0.2281	0.2568	0.2855	0.3142	0.3429	0.3716	0.4003	0.4290	0.4577	0.4864	0.5151	0.5438	0.5725		
22	0.2145	0.2485	0.2826	0.3167	0.3508	0.3848	0.4189	0.4530	0.4870	0.5211	0.5552	0.5892	0.6233	0.6574	0.6914	0.7255	
24	0.2624	0.3024	0.3423	0.3823	0.4222	0.4622	0.5021	0.5421	0.5820	0.6220	0.6619	0.7019	0.7418	0.7818	0.8217	0.8617	0.9016
26	0.3145	0.3608	0.4072	0.4535	0.4999	0.5462	0.5926	0.6389	0.6853	0.7316	0.7780	0.8243	0.8707	0.9170	0.9634	1.0097	1.0561
28	0.3707	0.4240	0.4772	0.5305	0.5838	0.6370	0.6903	0.7435	0.7968	0.8501	0.9033	0.9566	1.0098	1.0631	1.1163	1.1696	1.2229
30	0.4312	0.4918	0.5525	0.6132	0.6739	0.7345	0.7952	0.8559	0.9166	0.9772	1.0379	1.0986	1.1593	1.2200	1.2806	1.3413	1.4020
32	0.4957	0.5643	0.6330	0.7016	0.7702	0.8388	0.9074	0.9760	1.0446	1.1132	1.1818	1.2504	1.3190	1.3877	1.4563	1.5249	1.5935
34	0.5645	0.6415	0.7186	0.7956	0.8727	0.9498	1.0268	1.1039	1.1809	1.2580	1.3350	1.4121	1.4891	1.5662	1.6432	1.7203	1.7973
36	0.6374	0.7234	0.8094	0.8954	0.9814	1.0674	1.1535	1.2395	1.3255	1.4115	1.4975	1.5835	1.6695	1.7555	1.8415	1.9275	2.0135
38	0.7145	0.8100	0.9054	1.0009	1.0964	1.1919	1.2873	1.3828	1.4783	1.5738	1.6692	1.7647	1.8602	1.9557	2.0511	2.1466	2.2421
40	0.7957	0.9012	1.0067	1.1121	1.2176	1.3230	1.4285	1.5339	1.6394	1.7448	1.8503	1.9557	2.0612	2.1666	2.2721	2.3776	2.4830
42		0.9971	1.1131	1.2290	1.3449	1.4609	1.5768	1.6928	1.8087	1.9247	2.0406	2.1565	2.2725	2.3884	2.5044	2.6203	2.7363
44			1.2246	1.3516	1.4785	1.6055	1.7324	1.8594	1.9863	2.1133	2.2402	2.3672	2.4941	2.6211	2.7480	2.8749	3.0019
46				1.4799	1.6183	1.7568	1.8953	2.0337	2.1722	2.3106	2.4491	2.5876	2.7260	2.8645	3.0029	3.1414	3.2799
48				1.6139	1.7644	1.9149	2.0653	2.2158	2.3663	2.5168	2.6673	2.8178	2.9683	3.1187	3.2692	3.4197	3.5702
50				1.7536	1.9166	2.0796	2.2426	2.4057	2.5687	2.7317	2.8947	3.0578	3.2208	3.3838	3.5468	3.7099	3.8729
52				1.8990	2.0750	2.2511	2.4272	2.6033	2.7793	2.9554	3.1315	3.3076	3.4836	3.6597	3.8358	4.0118	4.1879
54				2.0501	2.2397	2.4293	2.6190	2.8086	2.9982	3.1879	3.3775	3.5671	3.7568	3.9464	4.1360	4.3257	4.5153
56				2.2069	2.4106	2.6143	2.8180	3.0217	3.2254	3.4291	3.6328	3.8365	4.0402	4.2439	4.4476	4.6513	4.8551
58				2.3694	2.5877	2.8060	3.0243	3.2425	3.4608	3.6791	3.8974	4.1157	4.3340	4.5523	4.7706	4.9889	5.2072
60				2.5376	2.7710	3.0044	3.2378	3.4711	3.7045	3.9379	4.1713	4.4047	4.6381	4.8715	5.1048	5.3382	5.5716
62				2.7115	2.9605	3.2095	3.4585	3.7075	3.9565	4.2055	4.4545	4.7035	4.9524	5.2014	5.4504	5.6994	5.9484
64				2.8911	3.1562	3.4213	3.6865	3.9516	4.2167	4.4818	4.7469	5.0120	5.2771	5.5422	5.8074	6.0725	6.3376
66				3.0764	3.3582	3.6399	3.9217	4.2034	4.4852	4.7669	5.0486	5.3304	5.6121	5.8939	6.1756	6.4574	6.7391
68				3.2674	3.5663	3.8652	4.1641	4.4630	4.7619	5.0608	5.3597	5.6585	5.9574	6.2563	6.5552	6.8541	7.1530
70				3.4642	3.7807	4.0972	4.4138	4.7303	5.0469	5.3634	5.6800	5.9965	6.3130	6.6296	6.9461	7.2627	7.5792

$$\text{Vol} = - 0.051595 + 0.000233 D^2 + 0.001554 H + 0.000031983 D^2 H \quad (\text{ Incluye volumen de fuste y ramas})$$

Según la tabla de volumen total obtenida, el volumen con corteza total varió de  $0.0145 \text{ m}^3$  en árboles con DAP de 10 cm y una altura de 9 m, hasta  $7.5792 \text{ m}^3$  para árboles de 70 cm de DAP y 41 m de altura total.

Los volúmenes obtenidos en este trabajo, son similares a los obtenidos en las tablas de volumen elaboradas por Peters (18) para esta especie en particular; lo anterior se evidencia al comparar los volúmenes en metros cúbicos obtenidos para cada uno de los estudios para árboles de un mismo tamaño, como se aprecia en el Cuadro 16.

**Cuadro 16.** Comparación de volúmenes totales de árboles de un mismo tamaño, obtenidos en este estudio y los obtenidos por Peters para la misma especie

<i>Estudio</i>	<i>DAP</i>	<i>Altura</i>	<i>Volumen total</i>
<i>Presente estudio</i>	<i>46 cm</i>	<i>33 m</i>	<i><math>2.726 \text{ m}^3</math></i>
<i>Peters (1,977)</i>	<i>46 cm</i>	<i>33 m</i>	<i><math>1.990 \text{ m}^3</math></i>

Esta diferencia probablemente se deba, por un lado, a que fueron generadas bajo condiciones diferentes, y particularmente el estudio realizado por Peters (18), no cuantifica la leña obtenida de ramas y no incluye corteza del fuste, lo cual hace una subestimación del trabajo. En el caso contrario, la tabla de volumen generada con esta investigación, incluye la corteza del fuste y el volumen de ramas de copa, lo que la hace más útil y completa.

## 7. CONCLUSIONES

1. Los modelos matemáticos para estimar la distribución del volumen por producto con corteza, para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore; en bosques naturales puros que posean árboles de fuste recto y buen estado fitosanitarios; en el área de distribución natural de la especie en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, son los siguientes:

DESCRIPCIÓN	MODELOS MATEMATICOS
Para estimar el volumen en porcentaje de TROZA:	$Ln V\% = 1.654835 Ln H + 0.000422 D - 0.043198 H$
Para estimar el volumen en porcentaje de TROCILLO:	$Ln V\% = 10.318851 - 2.391644 Ln H - 0.058462 D + 0.064263 H$
Para estimar el volumen en porcentaje de LEÑA:	$Ln V\% = -0.046817 + 2.750181 Ln D - 1.598876 Ln H$

Donde:  $Ln$  = logaritmo natural  
 $V\%$  = volumen en porcentaje  
 $H$  = altura total en metros  
 $D$  = DAP (diámetro a la altura del pecho en cm)

2. El modelo matemático que representa adecuadamente la relación entre las variables: Volumen total con corteza (incluyendo fuste y ramas), en función del DAP (diámetro a la altura del pecho en centímetros) y la altura total en metros, a un nivel de significancia del 95%; y en virtud de lo anterior es el más indicado para ser la base de la elaboración de una tabla de estimación volumétrica para árboles individuales de *Pinus maximinoi* H.E. Moore en bosques naturales puros, con árboles de fuste recto y buen estado fitosanitarios; en el área de distribución natural de la especie en los departamentos de Alta y Baja Verapaz, es el siguientes:

$$Vol = -0.051595 + 0.000233 D^2 + 0.001554 H + 0.000031983 D^2 H$$

Donde:  $Vol$  = volumen total con corteza en metros cúbicos  
 $D$  = DAP (diámetro a la altura del pecho en centímetros)  
 $H$  = altura total en metros

3. Dados los estimadores estadísticos, se puede considerar que los modelos matemáticos para cada producto y para el volumen total con corteza, son confiables a un nivel de significancia del 95% y pueden ser utilizados satisfactoriamente en las áreas en donde fueron estimados y bajo condiciones ecológicas y silvícolas similares.

## 8. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar las *tablas de distribución del volumen por producto*, al momento de determinar los productos forestales a extraer del bosque, los cuales se basan en el porcentaje de volumen de cada producto. Estas servirán al técnico como una guía, para estimar directamente en el campo los porcentajes de producto a extraer de los árboles que hallan llegado a la corta final, o bien aquellos que se requiera eliminar en las cortas intermedias.
- Se recomienda la elaboración de tablas de productos forestales tomando como base la calidad del fuste, es decir, tomar en cuenta sus características físicas, como bifurcaciones a diferentes alturas, sinuosidad u otras malformaciones que afecten su calidad productiva; lo anterior obedece a que bajo condiciones naturales es difícil encontrar una alta proporción de individuos de fuste recto, lo que puede afectar las estimaciones de los porcentajes de productos a obtener de una masa forestal.

## 9. BIBLIOGRAFIA

1. BARRENA, V.; DANCE, J.; SAENZ, D. 1986. Metodología para la selección de ecuaciones de volumen. *Revista Forestal del Perú (Perú)* 13 (2): 3-12.
2. BENITEZ RAMOS, R.F. 1988. Catálogo de cien especies forestales de Honduras: Distribución, propiedades y usos. Siguatepeque, Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 216 p.
3. BERNAL, L. 1975. Ordenación forestal. Honduras, Escuela Nacional de Ciencias Forestales. p 10-20.
4. CAILLIEZ, F. 1980. Estimación del volumen forestal y predicción del rendimiento. Italia, FAO. Estudio FAO: Montes 22/1. 92 p.
5. CASTELLANOS BOLAÑOS, J. F. 1993. Producción de biomasa y eficiencia de crecimiento en rodales coetáneos de *Pinus patula* en Zacatlán, Puebla. Tesis Mag.Sc. Chapingo, México, Colegio de Posgraduados. 75 p.
6. CRUZ, J. R. DE LA. 1982. Clasificación de zonas de vida de Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
7. FAO. (Roma). 1974. Manual de inventarios forestales con especial referencia a los bosques mixtos tropicales. Roma, FAO. 195 p.
8. FERREIRA ROJAS, O. 1990. Manual de inventarios forestales. Siguatepeque, Honduras. Escuela Nacional de Ciencias Forestales. 99 p.
9. \_\_\_\_\_. 1996. La ciencia y la estadística: validación de tablas de volumen; taller para el procesamiento de datos de investigación forestal. Guatemala, Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal. PROYECTO 7-PROCAFOR. 131 p.
10. GUATEMALA. DIRECCION GENERAL DE BOSQUES Y VIDA SILVESTRE. 1996. Precios de insumos, herramientas y productos del sector agroforestal. Guatemala, CATIE/DIGEBOS. Boletín no. 14. s.p.
11. GUATEMALA. INSTITUTO GEOGRAFICO NACIONAL. 1972. Mapa geológico de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1: 500,000. Color.

12. \_\_\_\_\_. 1973. Mapa de cuencas de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1: 500,000. Color.
  
13. \_\_\_\_\_. 1975. Mapa climatológico preliminar de la República de Guatemala. Guatemala. Esc. 1: 1,000,000. Color.
  
14. GUATEMALA. INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGIA, VULCANOGRAFIA, METEOROLOGIA E HIDROLOGIA. Tarjeta de registro de datos meteorológicos de la estación "Cobán", no. 1.1.8 del municipio de Cobán, Alta Verapaz.  
  
Sin Publicar
  
15. GUATEMALA. LEYES, DECRETOS, ETC. 1997. Ley forestal; Decreto legislativo 101-96. Guatemala, Instituto Nacional de Bosques. p 5.
  
16. HERNANDEZ JUAREZ, J. M. 1995. Modelo matemático para la cubicación de leña en bosques densos de *Pinus pseudostrobus* Lindley del departamento de Chimaltenango. Tesis Ing. Agr. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Agronomía. 107 p.
  
17. MARTINEZ GARZA, A.; CASTILLO MORALES, A. 1987. Teoría de la regresión con aplicaciones agronómicas, México, Colegio de Posgraduados de Chapingo. 490 p.
  
18. PETERS, R. 1977. Tablas de volumen para las especies de coníferas de Guatemala. Guatemala, FAO. Documento de trabajo no. 17. 162 p.
  
19. RIIHIMÄKI, I. 1996. Tablas de productos forestales para *Pinus oocarpa* y *P. caribaea* en Honduras y Guatemala. El Tatascán (Hond.) 8(2): 49-60.
  
20. RODRIGUEZ BEJARANO, M. C. 1977. La construcción de tarifas de volumen para *Pinus sp* y *Abies religiosa* Schl et Cham. del campo Zoquiapan, Edo. de México. México y Sus Bosques (Mex.) 16 (5): 19-31.
  
21. SIMMONS, CH.; TARANO, J. M.; PINTO, J. H. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la República de Guatemala. Trad. Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, ed. José de Pineda Ibarra. 1000 p.

22. TURTIAINEN, M.; BARAHONA, G. 1995. Manual de formulación de planes de manejo, para bosques pinares, mixtos y plantaciones. Honduras, Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal. 46 p.
23. \_\_\_\_\_. 1995. Manual de inventarios para planes de manejo, para bosques de coníferas, mixtos y plantaciones. Honduras, Centro de Manejo, Aprovechamiento y Pequeña Industria Forestal. 44 p.
24. VASQUEZ, W.; UGALDE, L. 1995. Tablas de volumen y de productos de *Eucalyptus grandis* en Costa Rica. Turrialba, C.R. , CATIE, Proyecto Madeleña 3. 18 p.

Vº Bº  
Muriel Roca





## **10. APENDICES**



Cuadro IBA. Mediciones dasométricas de cada árbol utilizado para obtener volúmenes totales y por producto.

ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN
<b>ARBOL No.1</b>			<b>ARBOL No.5</b>			<b>ARBOL No.9</b>		
0.3	71.0	0.1187758	0.3	54.0	0.0687066	0.3	50.1	0.0591407
1.3	63.5	0.3563057	1.3	48.8	0.2080300	1.3	45.0	0.1780894
3.3	56.4	0.5665242	3.3	47.1	0.3612714	3.3	41.1	0.2917134
5.3	50.1	0.4469677	5.3	46.6	0.3447874	5.3	40.4	0.2608598
7.3	49.8	0.3919176	7.3	44.4	0.3253842	7.3	36.0	0.2299771
9.3	43.8	0.3454558	9.3	42.4	0.2960260	9.3	33.4	0.1894035
11.3	40.6	0.2801358	11.3	38.3	0.2564050	11.3	31.0	0.1630926
13.3	35.3	0.2273296	13.3	36.6	0.2204181	13.3	26.8	0.1318872
15.3	30.7	0.1718907	15.3	34.3	0.1976101	15.3	24.4	0.1031699
17.3	25.8	0.1263022	17.3	32.9	0.1774136	17.3	20.0	0.0781754
19.3	20.0	0.0836952	19.3	29.0	0.1510643	19.3	14.1	0.0470304
21.3	15.4	0.0501424	21.3	24.6	0.1135811	20.8	10.0	0.0176014
22.0	10.0	0.00554	23.3	21.4	0.0834972	24.5		0.0096866
25.6		0.0093462	23.7	20.0	0.0134768			0.3298660
		1.0564000	25.7	13.4	0.0455185	<b>ARBOL No.10</b>		
<b>ARBOL No.2</b>			26.5	10.0	0.0082337	0.3	54.1	0.0689613
0.3	70.4	0.1167768	28.5	7.6	0.0123904	1.3	52.7	0.2239995
1.3	63.5	0.3529740	30.8		0.0035536	3.3	44.4	0.3729581
3.3	56.9	0.5709735			0.3298660	5.3	40.7	0.2849307
5.3	54.3	0.4858552	<b>ARBOL No.6</b>			7.3	39.9	0.2551366
7.3	52.4	0.4472253	0.5	75.0	0.2208932	9.3	37.1	0.2331392
9.3	51.2	0.4215389	1.3	67.5	0.3198534	11.3	33.5	0.1962443
11.3	50.8	0.4085704	3.3	60.0	0.6405904	13.3	32.5	0.1710990
13.3	39.2	0.3233704	5.3	58.0	0.5469513	15.3	29.9	0.1531731
15.3	35.3	0.2185551	7.3	53.0	0.4848263	17.3	28.5	0.1340093
17.3	31.0	0.1733444	9.3	50.0	0.4169679	19.3	24.7	0.1117103
19.3	25.9	0.1281621	11.3	48.0	0.3773053	21.3	21.3	0.0835491
21.3	20.0	0.0841012	13.3	45.0	0.3399989	22.3	20.0	0.0335243
23.3	14.6	0.0481575	15.3	39.2	0.2797306	28.3	10.0	0.1178097
25.2	10.0	0.0227509	17.3	36.4	0.2247495	33.1		0.0125664
26.7		0.0040579	19.3	30.0	0.1747479			0.6780000
		1.4302200	21.3	24.3	0.1170628	<b>ARBOL No.11</b>		
<b>ARBOL No.3</b>			22.3	20.0	0.0388965	0.3	38.0	0.0340234
0.3	88.0	0.1824637	23.3	12.0	0.0213628	1.3	35.2	0.1053627
1.3	79.3	0.5510546	24.8	10.0	0.0143728	3.3	31.0	0.1727907
3.3	76.3	0.9511313	28.5		0.0096866	5.3	27.9	0.1366129
5.3	62.4	0.7630497			0.9432000	7.3	27.2	0.1192431
7.3	57.9	0.5691129	<b>ARBOL No.7</b>			9.3	26.1	0.1118090
9.3	55.1	0.5017453	0.3	29.5	0.0205048	11.3	22.9	0.0946892
11.3	49.8	0.4332296	1.3	25.5	0.0597099	13.3	20.8	0.0751665
13.3	48.5	0.3795272	3.3	20.0	0.0824864	13.9	20.0	0.0196186
15.3	36.5	0.2893800	5.3	17.9	0.0565809	20.2	10.0	0.1237002
17.3	28.9	0.1702319	7.3	16.2	0.0457769	26.8		0.0172788
19.1	20.0	0.0873118	9.3	10.0	0.0284660			0.4320000
21.1	14.4	0.0477019	11.3	5.8	0.0104961	<b>ARBOL No.12</b>		
22.2	10.0	0.0135184	13.3		0.0017614	0.3	74.0	0.1290252
25.8		0.0093724			0.0399800	1.3	72.0	0.4186172
		1.5420000	<b>ARBOL No.8</b>			3.3	61.3	0.7022787
<b>ARBOL No.4</b>			0.2	30.3	0.0108160	5.3	58.1	0.5602481
0.2	19.5	0.0044797	1.3	26.7	0.0736557	7.3	55.7	0.5087888
1.3	13.7	0.0256484	3.3	21.4	0.0919583	9.3	51.4	0.4511680
3.3	10.9	0.0240725	5.0	20.0	0.0555918	11.3	46.8	0.3795201
4.1	10.0	0.0068741	7.0	18.1	0.0571464	13.3	41.4	0.3066352
5.3	8.5	0.0081171	9.0	16.5	0.0471129	15.3	34.9	0.2302764
7.3	5.7	0.0082263	11.0	16.3	0.0422497	17.3	28.6	0.1599047
9.9		0.0021690	13.0	12.2	0.0325571	19.0	20.0	0.0813096
		0.0093280	13.9	10.0	0.0087947	22.1	10.0	0.0608684
			18.3		0.0116501	25.8		0.0096866
					0.0533400			0.9550000

Cuadro 18A (Continuación)

ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN
<b>ARBOL No.13</b>			<b>ARBOL No.17</b>			<b>ARBOL No.21</b>		
0.3	72.3	0.1231651	0.0	22.0	0.0003801	0.3	48.5	0.0554236
1.3	63.0	0.3611375	1.1	20.0	0.0378389	1.3	41.2	0.1590310
3.3	54.5	0.5450074	1.3	19.4	0.0060975	3.3	34.9	0.2289789
5.3	53.6	0.4589246	3.3	16.2	0.0501712	5.3	34.6	0.1896870
7.3	49.5	0.4180839	5.3	12.9	0.0336818	7.3	31.4	0.1714618
9.3	48.8	0.3794800	7.3	10.0	0.0209238	9.3	31.0	0.1529139
11.3	44.6	0.3432661	9.3	7.5	0.0122718	11.3	30.4	0.1480601
13.3	44.2	0.3096668	11.3	3.8	0.0127696	13.3	30.2	0.1442148
15.3	39.5	0.2759803	15.9		0.0017390	15.3	28.6	0.1358739
17.3	34.8	0.2176566			0.0234066	17.3	26.0	0.1173353
19.3	28.2	0.1575729	<b>ARBOL No.18</b>			19.3	25.6	0.1045648
21.3	22.1	0.1008176	0.3	25.0	0.0147262	21.3	22.5	0.0912326
23.3	20.0	0.0697756	1.3	20.9	0.0416972	23.3	22.2	0.0784683
25.3	15.5	0.0502851	1.8	20.0	0.0147877	25.3	20.5	0.0717139
27.0	10.0	0.0227147	3.3	16.1	0.0401250	26.6	20.0	0.0418745
28.3		0.0034034	5.3	15.8	0.0399650	27.3	18.3	0.0202013
		1.4673000	7.3	13.4	0.0337093	29.3	15.9	0.0461579
<b>ARBOL No.14</b>			9.3	12.2	0.0257925	31.3	10.0	0.0277096
0.3	59.0	0.0820191	11.3	11.3	0.0217186	33.5		0.0057596
1.3	55.1	0.2559224	11.8	10.0	0.0044707			0.1617000
3.3	47.4	0.4149078	13.3	7.5	0.0092039	<b>ARBOL No.22</b>		
5.3	44.4	0.3312904	15.3	5.5	0.0067937	0.3	22.5	0.0119282
7.3	43.1	0.3007266	17.3	3.6	0.0033937	1.0	20.0	0.0249118
9.3	39.9	0.2709325	18.9		0.0005429	1.3	15.7	0.0076163
11.3	37.9	0.2378516			0.0545300	3.3	13.2	0.0330441
13.3	36.1	0.2151693	<b>ARBOL No.19</b>			5.3	11.0	0.0231861
15.3	32.6	0.1858228	0.3	53.0	0.0661855	6.4	10.0	0.0091126
17.3	30.6	0.1570105	1.3	40.5	0.1747216	7.3	9.0	0.0067525
19.3	26.3	0.1278667	3.3	37.2	0.2375115	9.3	6.3	0.0094790
21.3	22.4	0.0937333	5.3	35.7	0.2087847	11.3	3.2	0.0039215
22.5	20.0	0.0424944	7.3	34.6	0.1941229	12.5		0.0003217
27.1	10.0	0.0903208	9.3	32.6	0.1774937			0.0215300
31.6		0.0117810	11.3	30.1	0.1546268	<b>ARBOL No.23</b>		
		0.6780000	13.3	28.4	0.1345049	0.3	26.5	0.0165464
<b>ARBOL No.15</b>			15.3	23.7	0.1074621	1.3	22.1	0.0467571
0.3	66.0	0.1026358	16.8	20.0	0.0566482	1.9	20.0	0.0209327
1.3	63.2	0.3279132	17.3	18.8	0.0147938	3.3	15.6	0.0353706
2.0	60.5	0.2104138	19.3	14.7	0.0447308	5.3	12.5	0.0313853
4.0	54.4	0.5199030	21.0	10.0	0.0211018	6.6	10.0	0.0130818
6.0	50.1	0.4295633	21.3	9.3	0.0021970	7.3	8.2	0.0045972
8.0	48.4	0.3811200	23.5		0.0049815	9.3	5.6	0.0077440
10.0	48.0	0.3649400			0.2837500	11.7		0.0019704
12.0	41.4	0.3155698	<b>ARBOL No.20</b>					0.0516600
14.0	36.5	0.2392488	0.6	72.0	0.2442902	<b>ARBOL No.24</b>		
16.0	35.9	0.2058576	1.3	68.0	0.2696115	0.3	41.1	0.0398011
18.0	31.0	0.1766997	3.3	57.5	0.6228404	1.3	36.4	0.1183662
20.0	29.4	0.1433634	5.3	53.0	0.4802906	3.3	32.2	0.1854953
21.6	20.0	0.0789456	7.3	51.0	0.4249004	5.3	30.5	0.1544949
24.8	10.0	0.0638136	9.3	50.5	0.4045782	7.3	28.8	0.1382057
29.9		0.0132470	11.3	48.5	0.3850414	9.3	25.2	0.1150200
		1.1100000	13.3	44.5	0.3402738	11.3	23.5	0.0932495
<b>ARBOL No.16</b>			15.3	42.5	0.2973910	12.5	20.0	0.0448737
0.0	16.5	0.0002138	17.3	37.5	0.2523092	13.3	19.3	0.0242685
1.3	10.8	0.0197005	19.3	32.5	0.1934043	15.3	17.1	0.0522211
2.0	10.0	0.0059552	21.3	23.5	0.1263313	17.3	12.4	0.0350421
3.3	8.3	0.0086220	22.8	20.0	0.0560922	19.0	10.0	0.0169407
5.3	7.0	0.0092591	23.3	17.0	0.0135285	19.3	7.8	0.0018949
7.3	4.2	0.0052339	24.5	10.0	0.0183312	23.7		0.0070083
10.4		0.0014085	25.6		0.0028798			0.4558000
		0.0057400			1.1469000			

Cuadro 18A (Continuación)

ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN
<b>ARBOL No.25</b>			<b>ARBOL No.28</b>			<b>ARBOL No.32</b>		
0.5	66.5	0.1736614	0.3	62.0	0.0905721	0.3	58.4	0.0803594
1.3	61.7	0.2585261	1.3	54.0	0.2654646	1.3	44.2	0.2106516
3.3	52.0	0.5113641	3.3	44.0	0.3810752	3.3	37.3	0.2627102
5.3	51.5	0.4206789	5.3	42.5	0.2939156	5.3	36.4	0.2133338
7.3	48.7	0.3945793	7.3	42.0	0.2804068	7.3	34.6	0.1980868
9.3	46.2	0.3539106	9.3	41.0	0.2705697	9.3	31.8	0.1734473
11.3	44.8	0.3252711	11.3	39.5	0.2545672	11.3	31.5	0.1573537
13.3	41.9	0.2955178	13.3	36.5	0.2271764	13.3	29.1	0.1444394
15.3	41.2	0.2712019	15.3	34.0	0.1954267	15.3	28.0	0.1280835
17.3	40.0	0.2589803	17.3	30.5	0.1638537	17.3	27.4	0.1205398
19.3	38.8	0.2439007	19.3	25.5	0.1241322	19.3	25.6	0.1104364
21.3	35.7	0.2183352	21.3	24.0	0.0963094	21.3	21.8	0.0987971
23.3	34.3	0.1924995	23.3	20.0	0.0766549	23.3	21.5	0.0736303
25.3	32.9	0.174136	25.3	16.5	0.0527984	24.1	20.0	0.0270884
27.3	32.4	0.164602	27.3	10.0	0.0292364	25.3	18.3	0.0346309
29.3	28.9	0.1480452	29.8		0.0065450	27.3	16.3	0.0471694
31.3	26.8	0.1220077			0.9063000	29.3	11.4	0.0310743
33.3	20.0	0.0878264	<b>ARBOL No.29</b>			29.9	10.0	0.0054183
35.3	13.5	0.0457298	0.3	62.5	0.0920388	31.3	8.3	0.0092852
37.3	10.0	0.0221679	1.3	51.0	0.2555391	33.9		0.0046892
39.3		0.0052360	3.3	48.5	0.3890273			0.2130000
		1.2659800	5.3	43.5	0.3333623	<b>ARBOL No.33</b>		
<b>ARBOL No.26</b>			7.3	43.0	0.2938371	0.3	51.9	0.0634667
0.3	52.9	0.0659360	9.3	40.5	0.2740451	1.3	46.8	0.1917883
1.3	47.1	0.1970101	11.3	38.2	0.2434334	3.3	39.4	0.2939431
3.3	41.1	0.3069038	13.3	34.3	0.2070098	5.3	37.4	0.2317804
5.3	39.9	0.2577064	15.3	32.0	0.1728261	7.3	36.7	0.2156428
7.3	37.2	0.2337227	17.3	28.2	0.1428828	9.3	35.2	0.2030985
9.3	34.8	0.2038014	19.3	25.0	0.1115454	11.3	33.1	0.1833630
11.3	33.9	0.1853735	21.3	23.5	0.0924610	13.3	32.4	0.1684970
13.3	32.7	0.1742406	23.3	20.0	0.0747895	15.3	32.0	0.1628727
15.3	32.5	0.1669395	25.3	17.3	0.0549221	17.3	29.8	0.1501713
17.3	29.3	0.1503833	27.0	10.0	0.0266561	19.3	27.5	0.1291422
19.3	29.0	0.1334776	28.5		0.0039270	21.3	26.2	0.1133086
21.3	27.5	0.1254477			0.8325000	23.3	23.7	0.0980279
23.3	25.3	0.1096683	<b>ARBOL No.30</b>			25.3	20.0	0.0755310
25.3	24.5	0.0974161	0.3	35.7	0.0300295	27.3	16.0	0.0515221
27.3	23.0	0.0886911	1.3	33.8	0.0949126	28.8	10.0	0.0209701
29.3	20.0	0.0729635	3.3	27.3	0.1482620	29.3	9.3	0.0036617
31.3	17.5	0.0554687	5.3	26.4	0.1132741	33.8		0.0101894
33.3	14.0	0.0394466	7.3	23.9	0.0996018			0.2472000
34.8	10.0	0.0174358	9.3	22.6	0.0849777	<b>ARBOL No.34</b>		
39.6		0.0125664	10.3	20.0	0.0357655	0.3	39.1	0.0360217
		0.3298660	11.3	19.2	0.0301844	1.3	33.6	0.1043704
<b>ARBOL No.27</b>			13.3	15.5	0.0478221	3.3	31.9	0.1685912
0.3	60.2	0.0853894	15.3	10.8	0.0280301	5.3	30.2	0.1515544
1.3	50.6	0.2428608	16.1	10.0	0.0068059	7.3	28.4	0.1349785
3.3	44.6	0.3573185	17.3	8.2	0.0078810	9.3	28.2	0.1258051
5.3	41.8	0.2934562	19.3	5.3	0.0074872	11.3	26.4	0.1171971
7.3	39.9	0.2622641	22.9		0.0026474	13.3	25.1	0.1042200
9.3	36.5	0.2296708			0.1184312	15.3	24.2	0.0954769
11.3	33.2	0.1912044	<b>ARBOL No.31</b>			17.3	23.4	0.0890013
13.3	29.2	0.1535359	0.3	23.0	0.0124643	19.3	21.9	0.0806737
15.3	25.0	0.1160536	1.3	20.0	0.0364817	20.7	20.0	0.0466320
17.3	20.0	0.0805033	3.3	17.1	0.0543818	21.3	19.5	0.0199162
19.3	12.6	0.0438849	5.3	14.2	0.0388026	23.3	17.2	0.0531000
20.1	10.0	0.0081292	7.3	10.0	0.0236908	25.3	14.0	0.0386290
21.3	7.0	0.0070215	9.3	5.6	0.0103170	27.3	10.0	0.0232478
23.6		0.0029505	13.9		0.0037766	29.3	5.4	0.0101442
		0.6385500			0.0287000	32.1		0.0021375
								0.1423750

Cuadro 18A (Continuación)

ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN
<b>ARBOL No.35</b>			<b>ARBOL No.39</b>			<b>ARBOL No.43</b>		
0.3	40.2	0.0380770	0.3	35.1	0.0290286	0.5	62.0	0.1509535
1.3	37.7	0.1192757	1.3	32.5	0.0898598	1.3	57.0	0.2228332
3.3	32.4	0.1940758	3.3	27.3	0.1414926	3.3	50.0	0.4515254
5.3	28.2	0.1449060	5.3	26.2	0.1124478	5.3	43.5	0.3449665
7.3	26.2	0.1163709	7.3	23.9	0.0987756	7.3	39.5	0.2711587
9.3	23.8	0.0984010	9.3	22.1	0.0832224	9.3	38.2	0.2371502
11.3	20.0	0.0759040	10.3	20.0	0.0348878	11.3	34.3	0.2070098
13.3	17.8	0.0563005	11.3	19.1	0.0300340	13.3	32.5	0.1753590
15.3	11.0	0.0343879	13.3	14.7	0.0456238	15.3	28.1	0.1449735
16.6	10.0	0.0108483	15.3	10.8	0.0261326	17.3	20.0	0.0934318
17.3	8.4	0.0050234	16.0	10.0	0.0055298	19.3	16.1	0.0517742
19.3	4.5	0.0071322	17.3	7.5	0.0082835	21.3	14.2	0.0361951
21.3		0.0010603	19.3	5.1	0.0064607	22.8	10.0	0.0177681
		0.2574000	21.7		0.0016343	23.3	7.5	0.0030680
					0.1920000	26.6		0.0048597
<b>ARBOL No.36</b>			<b>ARBOL No.40</b>			<b>ARBOL No.44</b>		
0.3	38.2	0.0343825	0.3	57.5	0.0779017	0.5	63.0	0.1558623
1.3	33.5	0.1013749	1.3	45.9	0.2125704	1.3	56.0	0.2232102
3.3	27.6	0.1479698	3.3	39.6	0.2886315	3.3	48.5	0.4310461
5.3	25.7	0.1117033	5.3	37.7	0.2347909	5.3	48.0	0.3657010
7.3	24.4	0.0986342	7.3	37.5	0.2220745	7.3	43.4	0.3288902
9.3	22.0	0.0847727	9.3	36.8	0.2168084	9.3	41.5	0.2831997
10.8	20.0	0.0503362	11.3	35.6	0.2059000	11.3	38.0	0.2486767
11.3	18.9	0.0163546	13.3	33.2	0.1861079	13.3	37.5	0.2238581
13.3	16.8	0.0502223	15.3	33.0	0.1720996	15.3	36.5	0.2150813
15.3	12.9	0.0352369	17.3	28.7	0.1502223	17.3	30.7	0.1786577
16.3	10.0	0.0099388	19.3	28.5	0.1284864	19.3	26.2	0.1279359
17.3	8.5	0.0071025	21.3	26.0	0.1168869	21.3	23.0	0.0954604
19.3	5.1	0.0077173	23.3	22.9	0.0942800	22.8	20.0	0.0547226
20.8		0.0010214	25.3	20.8	0.0751665	23.3	17.5	0.0138672
		0.1218750	26.0	20.0	0.0228884	25.3	14.0	0.0394466
<b>ARBOL No.37</b>			<b>ARBOL No.41</b>			<b>ARBOL No.45</b>		
0.3	48.2	0.0547401	27.3	17.2	0.0355232	25.3	10.0	0.0151111
1.3	44.2	0.1679527	29.3	15.0	0.0409067	26.6	8.2	0.0045972
3.3	38.9	0.2722858	31.3	10.0	0.0255254	27.3		0.0049289
5.3	36.4	0.2229094	35.5		0.0109956	30.1		1.0359000
7.3	32.8	0.1885584			0.1797000			
9.3	32.1	0.1654245	<b>ARBOL No.42</b>					
11.3	24.7	0.1288446	0.2	27.0	0.0085883	0.6	86.0	0.3485283
13.3	22.4	0.0873245	1.3	21.7	0.0541675	1.3	79.5	0.3770451
14.5	20.0	0.0407238	2.5	20.0	0.0410397	3.3	77.0	0.9620538
15.3	14.9	0.0207623	3.3	17.5	0.0221875	5.3	73.0	0.8842013
16.4	10.0	0.0132776	5.3	12.3	0.0359351	7.3	68.5	0.7870671
17.3	8.2	0.0062391	7.3	10.0	0.0197363	9.3	65.0	0.7003592
20.5		0.0056331	9.3	9.4	0.0147938	11.3	59.0	0.6052278
		0.2130000	11.3	6.6	0.0103610	13.3	56.5	0.5241158
<b>ARBOL No.38</b>			13.3	4.3	0.0048734	15.3	55.0	0.4883017
0.5	61.0	0.1461233	15.2		0.0009197	17.3	54.0	0.4668050
1.3	55.5	0.2136676			0.0545300	19.3	46.0	0.3952124
3.3	45.2	0.4023823	<b>ARBOL No.43</b>			21.3	42.5	0.3080528
5.3	43.5	0.3090770	0.0	23.3	0.0004264	23.3	39.0	0.2613216
7.3	38.2	0.2632254	0.9	20.0	0.0329542	25.3	35.2	0.2167730
9.3	37.8	0.2268293	1.3	16.2	0.0104056	27.3	29.8	0.1670605
11.3	36.6	0.2174296	3.3	13.5	0.0349259	29.3	21.5	0.1060515
13.3	30.2	0.1768403	5.0	10.0	0.0188427	29.8	20.0	0.0169302
15.3	26.0	0.1247244	5.3	9.2	0.0021752	31.3	17.0	0.0405855
17.3	20.0	0.0845088	7.3	7.1	0.0106068	33.3	10.0	0.0305520
19.3	14.5	0.0479289	9.3	4.0	0.0052158	34.8		0.0039270
21.3	10.0	0.0243670	12.8		0.0014451			1.3599000
25.7		0.0115192			0.0287000			
		1.0629000						

Cuadro 18A (Continuación)

ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN	ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN
<b>ARBOL No.46</b>			<b>ARBOL No.50</b>			<b>ARBOL No.54</b>		
0.3	77.0	0.1396988	0.3	82.5	0.1603685	0.5	79.0	0.2450835
1.3	71.5	0.4335889	1.3	77.5	0.5031457	1.3	69.5	0.3478136
3.3	63.3	0.7162156	3.3	68.4	0.8391830	3.3	58.0	0.6435749
5.3	54.2	0.5454221	5.3	67.2	0.7221265	5.3	54.0	0.4932300
7.3	51.5	0.4390289	7.3	55.0	0.5922562	7.3	50.0	0.4253716
9.3	46.0	0.3744975	9.3	49.0	0.4261570	9.3	44.0	0.3484026
11.3	40.5	0.2950152	11.3	48.0	0.3695298	11.3	43.5	0.3006701
13.3	35.0	0.2250362	13.3	41.0	0.3129812	13.3	37.0	0.2561380
15.3	26.0	0.1493042	15.3	36.5	0.2366601	15.3	30.5	0.1805827
17.3	20.0	0.0845086	17.3	30.0	0.1753205	17.3	26.0	0.1261546
19.3	17.0	0.0541139	19.3	27.2	0.1287927	19.3	20.0	0.0845088
21.3	10.0	0.0305520	21.3	20.0	0.0895228	21.3	15.5	0.0502851
25.3		0.0104720	23.3	13.7	0.0461571	22.8	10.0	0.0200424
		1.203670	25.3	10.0	0.0225951	24.5		0.0044506
			26.8		0.0039270			1.0170000
					1.4805000			
<b>ARBOL No.47</b>			<b>ARBOL No.51</b>			<b>ARBOL No.55</b>		
0.5	77.0	0.2328313	0.0	18.7	0.0002746	0.3	89.0	0.1866342
1.3	68.5	0.3336764	1.3	12.8	0.0260145	1.3	78.5	0.5530479
3.3	65.0	0.7003592	3.3	10.5	0.0215270	3.3	67.5	0.8418290
5.3	57.0	0.5870066	5.3	10.0	0.0165130	5.3	65.0	0.6896778
7.3	53.0	0.4757942	7.3	8.4	0.0133958	7.3	60.0	0.6145741
9.3	51.5	0.4289256	9.6		0.0042487	9.3	56.5	0.5334621
11.3	46.2	0.3759458			0.0107000	11.3	55.0	0.4883017
13.3	40.6	0.2971004				13.3	54.0	0.4666050
15.3	39.5	0.2520036				15.3	50.5	0.4293183
17.3	36.0	0.2243294				17.3	50.0	0.3966457
19.3	31.7	0.1807115	0.3	60.0	0.0848230	19.3	46.6	0.3669035
21.3	27.3	0.1374588	1.3	55.5	0.2623328	19.3	44.5	0.3260824
23.3	24.4	0.1052944	3.3	49.0	0.4304964	21.3	41.5	0.2907937
23.8	20.0	0.0195438	5.3	48.5	0.3733194	23.3	41.0	0.2672906
25.3	17.0	0.0405855	7.3	41.0	0.3167707	25.3	36.4	0.2360875
27.3	11.7	0.0334493	9.3	37.5	0.2424720	27.3	32.5	0.1870198
29.3	10.0	0.0186053	11.3	30.0	0.1811325	29.3	30.3	0.1550643
31.8		0.0065450	13.3	29.5	0.1390351	31.3	26.5	0.1272612
		1.4805000	15.3	23.0	0.1098968	33.3	20.0	0.0649279
			16.8	20.0	0.0547226	34.8	18.5	0.0145740
			17.3	16.0	0.0128805	35.3	10.0	0.0347342
			19.3	14.0	0.0355000	37.3		0.0065450
			21.3	10.0	0.0232478	39.8		1.4608000
			25.5		0.0109956			
					0.9300000			
<b>ARBOL No.48</b>			<b>ARBOL No.52</b>			<b>ARBOL No.56</b>		
0.0	20.0	0.0003142	0.3	36.5	0.0313904	0.6	81.0	0.3091798
1.3	14.8	0.0313594	1.3	33.5	0.0963880	1.3	74.0	0.3308843
3.3	11.2	0.0270554	3.3	30.0	0.1588271	3.3	65.0	0.7619148
4.5	10.0	0.0106236	5.3	28.5	0.1344798	5.3	62.0	0.6337378
5.3	8.9	0.0056300	7.3	28.0	0.1253692	7.3	59.5	0.5799576
7.3	6.1	0.0091436	9.3	25.5	0.1126457	9.3	57.0	0.5332264
9.3	2.2	0.0033026	11.3	24.5	0.0982140	11.3	52.0	0.4675475
10.2		0.0001140	13.3	22.5	0.0869043	13.3	50.6	0.4134619
		0.0229600	15.3	21.0	0.0743968	15.3	48.3	0.3843150
			17.3	20.0	0.0616016	17.3	45.2	0.3436847
			19.3	17.5	0.0416016	19.3	43.2	0.3070341
			21.3	15.0	0.0417243	21.3	36.1	0.2489280
			23.3	10.0	0.0255254	23.3	35.3	0.2002216
			25.8	5.5	0.0112528	25.3	25.8	0.1501469
					0.0018215	26.8	20.0	0.0627714
					0.1184312	27.3	16.5	0.0131996
						29.3	10.0	0.0292364
						30.9		0.0041888
								1.2038000
<b>ARBOL No.49</b>								
0.2	32.0	0.0160850						
1.3	28.5	0.0793203						
3.3	22.2	0.1025015						
4.3	20.0	0.0350617						
5.3	18.7	0.0294403						
7.3	15.2	0.0456104						
9.3	12.9	0.0312157						
10.3	10.0	0.0104619						
11.3	9.1	0.0071789						
13.3	7.0	0.0103523						
15.3	6.3	0.0069657						
17.3	5.0	0.0050807						
18.9		0.0010472						
		0.0533400						

Cuadro 18A (Continuación)

ALTURA	DIAMETRO	VOLUMEN
<b>ARBOL No.57</b>		
0.3	43.2	0.0439722
1.3	34.6	0.1202994
3.3	28.8	0.1591688
5.3	27.5	0.1245398
7.3	27.0	0.1166513
9.3	25.5	0.1083260
11.3	24.0	0.0963094
13.3	23.8	0.0897270
15.3	21.9	0.0821566
17.3	20.7	0.0713220
17.8	20.0	0.0146406
19.3	18.9	0.0460901
21.3	16.5	0.0494377
23.3	15.5	0.0402517
25.3	14.2	0.0347060
27.0	10.0	0.0195449
27.3	9.7	0.0026677
31.2		0.0096068
		0.1423750
<b>ARBOL No.58</b>		
0.3	48.0	0.0542867
1.3	39.5	0.1517487
3.3	34.0	0.2133338
5.3	33.5	0.1789333
7.3	29.3	0.1555670
9.3	28.2	0.1298837
11.3	24.7	0.1103744
13.3	22.8	0.0887445
15.3	20.0	0.0722441
17.3	16.0	0.0515221
19.3	12.7	0.0327739
20.3	10.0	0.0102608
21.3	7.5	0.0061359
23.3	3.5	0.0053800
25.0		0.0005452
		0.4320000
<b>ARBOL No.59</b>		
0.2	33.0	0.0128295
1.3	25.3	0.0780864
3.3	21.9	0.0879410
4.8	20.0	0.0500862
5.3	19.6	0.0169366
7.3	17.7	0.0547776
9.3	14.6	0.0413473
11.3	10.7	0.0257336
11.7	10.0	0.0033692
13.3	7.0	0.0093619
15.3	3.9	0.0050430
16.5		0.0004778
		0.0934400



APENDICE 3.

Cuadro 19 A. Programa utilizado en SAS para efectuar los análisis de regresión para generar las tablas de volumen total de *Pinus maximinoi* H.E. Moore, para Alta y Baja Verapaz..

```

1. options ls=75 ps=80 nodate;
2. data prodmax;
3. infile 'c:\GIRON\BASEVOL.prn';
4. Input H D VOL; D2=D*D; D3=D*D*D; H2=H*H; LNH=LOG(H); LND=LOG(D); LNVOL=LOG(VOL); A=D*H2;
   B=D*H; C=D2*H; E=1/D; F=1/H; G=1/D2*H; I= 1/D2; J=H/D2; K= H/D;
5. PROC REG;
6. MODEL VOL=A D2;
7. PROC REG;
8. MODEL VOL=A D2/NOI T;
9. PROC REG;
10. MODEL VOL=B D2 A;
11. PROC REG;
12. MODEL VOL=B D2 A/NOINT;
13. PROC REG;
14. MODEL VOL=B H C;
15. PROC REG;
16. MODEL VOL=B H C/NOINT;
17. PROC REG;
18. MODEL VOL=D2 H B;
19. PROC REG;
20. MODEL VOL=D2 H B/NOINT;
21. PROC REG;
22. MODEL VOL=C;
23. PROC REG;
24. MODEL VOL= C/NOINT;
25. PROC REG;
26. MODEL VOL= D2 B C;
27. PROC REG;
28. MODEL VOL=D2 B C/NOINT;
29. PROC REG;
30. MODEL LNVOL= LND LNH;
31. PROC REG;
32. MODEL LNVOL= LND LNH/NOINT;
33. PROC REG;
34. MODEL VOL=B D2;
35. PROC REG;
36. MODEL VOL=B D2/NOINT;
37. PROC REG;
38. MODEL VOL=D2 H C;
39. PROC REG;
40. MODEL VOL=D2 H C/NOINT;
41. PROC REG;
42. MODEL VOL=H D2 C;
43. PROC REG;
44. MODEL VOL=H D2 C/NOINT;
45. PROC REG;
46. MODEL LNVOL=LNH D H;
47. PROC REG;
48. MODEL LNVOL=LNH D H/NOINT;

```

Cuadro 19 A. (Continuación)

```
49. PROC REG;
50. MODEL LNVOL=D LND LNH;
51. PROC REG;
52. MODEL LNVOL=D LND LNH/NOINT;
53. PROC REG;
54. MODEL VOL=C D2;
55. PROC REG;
56. MODEL VOL=C D2/NOINT;
57. PROC REG;
58. MODEL VOL= E F;
59. PROC REG;
60. MODEL VOL= E F/NOINT;
61. PROC REG;
62. MODEL VOL= H C;
63. PROC REG;
64. MODEL VOL= H C/NOINT;
65. PROC REG;
66. MODEL VOL= G;
67. PROC REG;
68. MODEL VOL= G/NOINT;
69. PROC REG;
70. MODEL VOL= I J H;
71. PROC REG;
72. MODEL VOL= I J H/NOINT;
73. PROC REG;
74. MODEL VOL= G F I;
75. PROC REG;
76. MODEL VOL= G F I/NOINT;
77. PROC REG;
78. MODEL VOL= I K H;
79. PROC REG;
80. MODEL VOL= I K H/NOINT;
81. REG;
82. MODEL VOL= G F E;
83. PROC REG;
84. MODEL VOL= G F E/NOINT;
85. PROC REG;
86. MODEL VOL= C D3;
87. PROC REG;
88. MODEL VOL= C D3/NOINT;
89. PROC REG;
90. MODEL VOL=C H D2;
91. PROC REG;
92. MODEL VOL=C H D2/NOINT;
93. RUN;
```

## APENDICE 4.

Cuadro 20 A. Programa utilizado en SAS para efectuar los análisis de regresión para la elaboración de tablas de productos forestales de *Pinus maximinoi* H.E.Moore para Alta y Baja Verapaz.

```

1. options ls=75 ps=80 nodate;
2. data prodmax;
3. infile 'c:\GIRON\basemax.prn';
4. input H D TR TC LE; D2=D*D; H2=H*H; LNH=LOG(H); LND=LOG(D);
5. LNTR=LOG(TR); LNTC=LOG(TC); LNLE=LOG(LE); A=D*H2; B=D*H; C=D2*H; E=1/D; F=1/H; G=1/D2*H;
   I=1/D2; J=H/D2; K=H/D;
6. PROC REG;
7. MODEL TR TC LE=A D2;
8. PROC REG;
9. MODEL TR TC LE=A D2/N: 'NT';
10. PROC REG;
11. MODEL TR TC LE=B D2 A;
12. PROC REG;
13. MODEL TR TC LE=B D2 A/NOINT;
14. PROC REG;
15. MODEL TR TC LE=B H C;
16. PROC REG;
17. MODEL TR TC LE=B H C/NOINT;
18. PROC REG;
19. MODEL TR TC LE=D2 H B;
20. PROC REG;
21. MODEL TR TC LE=D2 H B/NOINT;
22. PROC REG;
23. MODEL TR TC LE=C;
24. PROC REG;
25. MODEL TR TC LE= C/NOINT;
26. PROC REG;
27. MODEL TR TC LE= D2 B C;
28. PROC REG;
29. MODEL TR TC LE=D2 B C/NOINT;
30. PROC REG;
31. MODEL LNTR LNTC LNLE= LND LNH;
32. PROC REG;
33. MODEL LNTR LNTC LNLE= LND LNH/NOINT;
34. PROC REG;
35. MODEL TR TC LE=B D2;
36. PROC REG;
37. MODEL TR TC LE=B D2/NOINT;
38. PROC REG;
39. MODEL TR TC LE=D2 H C;
40. PROC REG;
41. MODEL TR TC LE=D2 H C/NOINT;
42. PROC REG;
43. MODEL TR TC LE=H D2 C;
44. PROC REG;
45. MODEL TR TC LE=H D2 C/NOINT;
46. PROC REG;
47. MODEL LNTR LNTC LNLE=LNH D H;
48. PROC REG;

```

Cuadro 20 A (Continuación)

```
49. MODEL LNTR LNTC LNLE=LNH D H/NOINT;
50. PROC REG;
51. MODEL LNTR LNTC LNLE=D LND LNH;
52. PROC REG;
53. MODEL LNTR LNTC LNLE=D LND LNH/NOINT;
54. PROC REG;
55. MODEL LNTR LNTC LNLE=LND D;
56. PROC REG;
57. MODEL LNTR LNTC LNLE=LND D/NOINT;
58. PROC REG;
59. MODEL TR TC LE= E F;
60. PROC REG;
61. MODEL TR TC LE= E F/NOINT;
62. PROC REG;
63. MODEL TR TC LE= H C;
64. PROC REG;
65. MODEL TR TC LE= H C/NOINT;
66. PROC REG;
67. MODEL TR TC LE= G;
68. PROC REG;
69. MODEL TR TC LE= G/NOINT;
70. PROC REG;
71. MODEL TR TC LE= I J H;
72. PROC REG;
73. MODEL TR TC LE= I J H/NOINT;
74. PROC REG;
75. MODEL TR TC LE= G F I;
76. PROC REG;
77. MODEL TR TC LE= G F I/NOINT;
78. PROC REG;
79. MODEL TR TC LE= I K H;
80. PROC REG;
81. MODEL TR TC LE= I K H/NOINT;
82. PROC REG;
83. MODEL TR TC LE= G F E;
84. PROC REG;
85. MODEL TR TC LE= G F E/NOINT;
86. RUN;
```



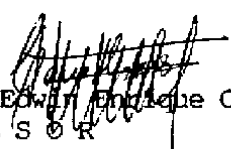
LA TESIS TITULADA: "DISTRIBUCION DEL VOLUMEN POR PRODUCTO PARA Pinus maximinoi H.E. Moore EN LOS DEPARTAMENTOS DE ALTA Y BAJA VERAPAZ"

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JORGE LUIS GIRON HERNANDEZ


CARNET No: 8840010

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Walter Estuardo García Tello  
 Ing. Agr. Boris Mendez Paiz  
 Ing. Agr. Mario Saravia  
 Ing. Agr. Luis Fernando Morán

Los Asesores y las Autoridades de la Facultad de Agronomía, hacen constar que ha cumplido con las normas Universitarias y Reglamentos de la Facultad de Agronomía de la Universidad de San Carlos de Guatemala.

  
 Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales  
 ASESOR

  
 Ing. Agr. Luis Fernando Pereira Rodas  
 ASESOR

  
 Ing. Agr. Fernando Rodríguez B.  
 DIRECTOR DEL IIA.



I M P R I M A S E

  
 Ing. Agr. Rolando Lara Alecio  
 DECANO



cc:Control Académico APARTADO POSTAL 1545 • 01091 GUATEMALA, C. A.  
 Archivo  
 FR/prr.

TELEFONO: 769794 • FAX: (5022) 769770