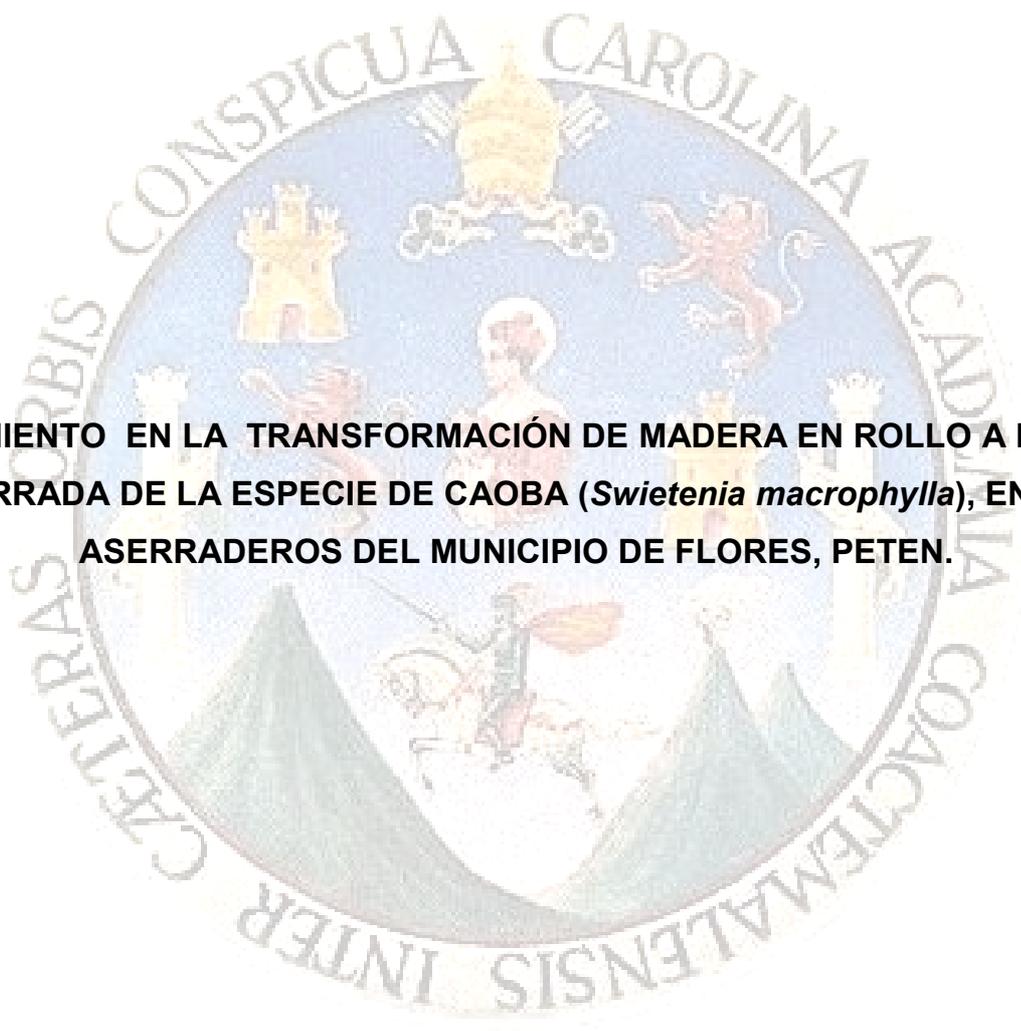


**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**

The seal of the University of San Carlos of Guatemala is a circular emblem. It features a central figure of a man on horseback, likely a saint or historical figure, holding a staff. Above him is a crown and a shield. The shield is divided into four quadrants, each containing a different symbol: a castle, a lion, a cross, and a figure. The entire emblem is surrounded by a Latin inscription: "ACADEMIA CAROLINA CONSPICUA COACTEMALENSIS INTER CETERAS URBIS GUATEMALENSIS".

**RENDIMIENTO EN LA TRANSFORMACIÓN DE MADERA EN ROLLO A MADERA  
ASERRADA DE LA ESPECIE DE CAOBA (*Swietenia macrophylla*), EN DOS  
ASERRADEROS DEL MUNICIPIO DE FLORES, PETEN.**

**JOSÉ GUILLERMO ARREAGA MORALES**

**Guatemala, agosto de 2007**

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE AGRONOMÍA**  
**INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS Y AMBIENTALES**

**RENDIMIENTO EN LA TRANSFORMACIÓN DE MADERA EN ROLLO A MADERA  
ASERRADA DE LA ESPECIE DE CAOBA (*Swietenia macrophylla*), EN DOS  
ASERRADEROS DEL MUNICIPIO DE FLORES, PETEN.**

**TESIS**

**PRESENTADO A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA DE LA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**POR**

**JOSÉ GUILLERMO ARREAGA MORALES**

**EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERO AGRÓNOMO**

**EN**

**SISTEMAS DE PRODUCCIÓN AGRÍCOLA**

**EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADO**

**GUATEMALA, AGOSTO DE 2007.**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

RECTOR

Lic. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agr. Francisco Javier Vásquez Vásquez</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>Ing. Agr. Waldemar Nufio Reyes</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>Ing. Agr. Walter Arnoldo Reyes Sanabria</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>Ing. Agr. Danilo Ernesto Dardón Ávila</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>Br. Mirna Regina Valiente</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>Br. Nery Boanerges Guzmán Aquino</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales</b>

Guatemala, agosto de 2007

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

**Distinguidos miembros:**

De conformidad con las normas establecidas en la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a su consideración el trabajo de tesis titulado

**RENDIMIENTO EN LA TRANSFORMACIÓN DE MADERA EN ROLLO A  
MADERA ASERRADA DE LA ESPECIE DE CAOBA (*Swietenia macrophylla*),  
EN DOS ASERRADEROS DEL MUNICIPIO DE FLORES, PETEN.**

Presentado como requisito previo a optar el Título de Ingeniero Agrónomo en Sistemas de Producción Agrícola, en el grado académico de Licenciado.

En espera de su aprobación, me es grato presentarles mi agradecimiento.

Atentamente,

**JOSÉ GUILLERMO ARREAGA MORALES**

## Tesis que dedico

### A:

- Dios** Como fuente de Luz e inspiración y haberme proporcionado la oportunidad de culminar mis estudios y este Triunfo.
- Mis Padres** César Augusto Arreaga Domínguez y Gladis Ivette Morales Vargas de Arreaga, que mi Triunfo hoy sea su Triunfo, porque ellos se lo merecen.
- Mis Abuelitos** En especial a Emilia Vda. De Morales, por sus Buenos ejemplos, Amor y Cariño proporcionados.
- Mi Esposa e Hija** Oneida Corzo Morales y Josseline Alejandra Arreaga Corzo; por su amor, respaldo y fuente de inspiración para enfrentar los retos de la vida.
- Mis Hermanos** Jairo, Vinicio y Max, por su cariño y apoyo.
- Mis Tios** Alberto, Jorge, Willy, Chiquí, Sandra, Luby y Herber, por su valioso apoyo en el transcurso de mi desarrollo personal y profesional.
- Mis Sobrinas** Gaby y Lunita, con mucho cariño
- Mi Familia en general** Por su incondicional apoyo y muestras de cariño.
- Mis compañeros de trabajo** Gracias por su apoyo siempre

## **Agradecimientos**

**A la Gloriosa Universidad de San Carlos de Guatemala y a la Facultad de Agronomía.**

Forjadores de profesionales que impulsan el desarrollo de Guatemala

**A los Aserraderos El Desarrollo Árbol Verde y Selva Maya, Flores, Petén**

Por brindarme la oportunidad de realizar el presente estudio en sus instalaciones y además compartir con personal de gran experiencia en el campo forestal.

**Al Instituto Nacional de Bosques INAB Región VIII**

Por la oportunidad de ampliar mis conocimientos en el campo forestal

**A los Ingenieros Lily Gutiérrez y Juan Mateo Hernández**

Por su apoyo en el transcurso del estudio

**A Alberto Morales**

Por su valiosa ayuda para agilizar el presente estudio

**A todas las personas que de alguna manera colaboraron en la realización del presente documento.**

## Índice General

<b>1. RESUMEN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>3</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>5</b>
<b>4. MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>6</b>
4.1 MARCO CONCEPTUAL .....	6
4.1.1 El rendimiento en la transformación de la madera .....	6
4.1.1.1 Transformación de la madera.....	6
4.1.1.2 LOS ASERRADEROS.....	7
4.1.1.3 Tipos de aserraderos.....	7
4.1.1.4 ¿Qué es un Estudio de Rendimiento en el Aserrío de Trozas? .....	8
4.1.1.5 Eficiencia del proceso de Aserrado .....	8
4.1.2 La estadística como herramienta.....	12
4.1.2.1 Estadística descriptiva.....	13
4.1.2.2 Calculo del número de muestras .....	15
4.1.2.3 Regresión:.....	16
4.1.3 Descripción botánica de la Caoba <i>Swietenia macrophylla</i> .....	16
4.1.3.1 Clasificación Taxonómica.....	16
4.1.3.2 Distribución y hábitat .....	16
4.1.3.3 Descripción del árbol.....	17
4.1.3.4 Descripción de la madera.....	17
4.1.3.5 Otras características de la madera .....	17
4.1.3.6 Usos: S.....	17
4.2 MARCO REFERENCIAL.....	18
4.2.2 Descripción del Municipio .....	18
4.2.2.1 Limites del Municipio .....	18
4.2.3 Descripción de los aserraderos .....	20
4.2.3.1 Aserradero Árbol verde .....	20
4.2.3.2 Aserradero Selva Maya .....	20
4.2.4 Estructura de las Asociaciones:.....	20
4.2.4.1 Árbol Verde .....	20
4.2.4.2 Selva Maya .....	21
4.2.4.3 Asociación de comunidades forestales de Petén.....	21
4.2.5 Características de los aserraderos .....	22
<b>5. OBJETIVOS .....</b>	<b>23</b>
5.1 GENERAL .....	23
5.2 ESPECÍFICOS.....	23
<b>6. METODOLOGÍA.....</b>	<b>24</b>
6.1 UBICACIÓN DEL LUGAR DE LA INVESTIGACIÓN: .....	24
6.2 SELECCIÓN DE LOS ASERRADEROS: .....	24
6.3 RECOPIACIÓN DE LA INFORMACIÓN:.....	24
6.4 TOMA DE MUESTRAS .....	24
6.4.1 Tamaño de la muestra.....	25

6.4.2 Selección y marcado de las Trozas .....	26
6.4.3 Cubicación de Trozas .....	26
6.5 DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA .....	26
6.5.1 Determinación del Rendimiento .....	26
6.5.2 Volumen de los Desperdicios .....	28
6.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LA INFORMACIÓN .....	28
6.6.1 Estadística descriptiva .....	28
6.6.2 Análisis de correlación .....	28
6.6.3 Regresión Lineal .....	28
<b>7. RESULTADOS .....</b>	<b>29</b>
7.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS ASERRADEROS .....	29
7.1.2 MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DESVIACIÓN DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE .....	29
7.1.2 Medidas de tendencia central y de desviación del aserradero Selva Maya .....	30
7.2 CORRELACIÓN ENTRE LA RENDIMIENTO-DIÁMETRO MEDIO-LONGITUD .....	30
7.3 ANÁLISIS DE LOS ASERRADEROS .....	32
<b>8. CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>9. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>35</b>
<b>10. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>36</b>
<b>11. APÉNDICES .....</b>	<b>38</b>

## i. Índice de Cuadros

CUADRO 1. CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS ASERRADEROS PORTÁTILES WORD-MAZER, EN LOS ASERRADEROS ÁRBOL VERDE Y SELVA MAYA .....	22
CUADRO 2. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DESVIACIÓN DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE .....	29
CUADRO 3. MEDIDAS DE TENDENCIA CENTRAL Y DE DESVIACIÓN DEL ASERRADERO SELVA MAYA .....	30
CUADRO 4. CORRELACIÓN ENTRE DIÁMETRO, RENDIMIENTO Y LONGITUD DEL ASERRADERO ÁRBOL .....	30
CUADRO 5. CORRELACIÓN ENTRE DIÁMETRO, RENDIMIENTO Y LONGITUD DEL ASERRADERO SELVA MAYA .....	31
CUADRO 6. RENDIMIENTO DE ACUERDO AL MÉTODO DEL EL FACTOR DE CONVERSIÓN CÚBICO .... (FCC) DE LOS ASERRADEROS ÁRBOL VERDE Y SELVA MAYA .....	32
CUADRO 7 A. VOLUMEN Y RENDIMIENTO DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE .....	38
CUADRO 8 A. VOLUMEN Y RENDIMIENTO DEL ASERRADERO SELVA MAYA .....	40
CUADRO 9 A. REGRESIÓN LINEAL PARA DIÁMETRO MEDIO Y RENDIMIENTO EN M <sup>3</sup> DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE .....	42

CUADRO 10 A. REGRESIÓN LINEAL PARA DIÁMETRO MEDIO Y RENDIMIENTO EN M <sup>3</sup> DEL ASERRADERO SELVA MAYA.....	43
--	----

## ii. Índice de Figuras

FIGURA 1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL MUNICIPIO DE FLORES, PETEN. ....	19
FIGURA 2 A. TROZAS DE CAOBA Y CEDRO DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE. ....	44
FIGURA 3 A. ASERRADERO PORTÁTIL WOOD-MAIZER DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE .....	44
FIGURA 4 A. SIERRA DE BANDA Y AFILADOR, DEL ASERRADERO ÁRBOL VERDE .....	45
FIGURA 5 A. TROZAS DE CAOBA DEL ASERRADERO SELVA MAYA.....	45
FIGURA 6 A. ASERRADERO PORTÁTIL WOOD-MAIZER DEL ASERRADERO SELVA MAYA. ....	46

**Rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada de la especie de caoba (*Swietenia macrophylla*), en dos aserraderos del municipio de Flores, Petén.**

**Yield of roller-wood transformation to saw-wood of mahogany (*Swietenia macrophylla*), on two sawmills at Flores, Petén.**

**Resumen**

Las concesiones forestales comunitarias dentro de la Zona de Usos Múltiples de la Reserva de la Biosfera Maya, se crearon como un mecanismo de conservación, a través del involucramiento de la sociedad civil, convirtiendo a hombres y mujeres campesinas en guarda recursos del bosque.

Una de las grandes ideas al momento de acceder a los recursos naturales, fue el buscar alternativas socioeconómicas y ambientales, a medida que los socios mejoren su nivel de vida a través del manejo sostenible de los recursos naturales, por lo que realizan un manejo sostenible del bosque aprovechando maderas preciosas en este caso la caoba *Swietenia macrophylla*, brindándole una transformación primaria, que consiste únicamente en el aserrio, la mayoría de las concesiones cuentan con un aserradero portátil, para realizar dicha tarea.

Los aserraderos actualmente no cuentan con información básica sobre el rendimiento de especies latifoliadas que se trabajan con los aserraderos portátiles que actualmente utilizan ni los factores que influyen sobre ella, como lo son el diámetro la longitud y calidad y el manejo de las mismas.

Por lo que el estudio de rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada fue enfocado hacia dos industrias forestales ubicadas en el municipio de Flores, Petén, siendo éstos: El Desarrollo Árbol Verde y Aserradero Selva Maya, los cuales presentaban características muy similares con respecto a su infraestructura, maquinaria y equipo. Por lo que se tomo una muestra de 55 trozas para cada uno de los

aserraderos, obteniéndose un rendimiento medio por cada metro cúbico en rollo aserrado del 56 % y 53% para cada aserradero lo que equivale a 237 y 225 pies tablares respectivamente. Este rendimiento es afectado por el diámetro y el aserrador la troza. El presente trabajo es el resultado obtenido de la realización de la investigación de dos aserraderos del Municipio de Flores Peten, durante el año de 2005.

## 2. INTRODUCCIÓN

El departamento de Petén, es el mayor productor de madera aserrada de la especie Caoba *Swietenia macrophylla*, producto del manejo sostenible de sus bosques naturales latifoliados.

Actualmente la industria forestal del departamento en su mayoría se encuentra concentrada en el municipio de Flores, Petén, esto por su accesibilidad y servicios que presta. Cabe mencionar que la materia prima para la transformación de madera aserrada de las industrias forestales proviene en su mayoría del manejo de las Concesiones Forestales otorgadas por el Estado en la Reserva de la BIOSFERA MAYA. El tipo de industria forestal es primario, lo que significa que sólo sufre un proceso de transformación en lo que respecta a la materia prima que son las trozas o fustes de los árboles de Caoba, transformándose principalmente en tabla y tablón, para su posterior procesamiento en el exterior del país u otro departamento de Guatemala.

En la actualidad la Institución rectora del sector forestal en el país aplica un rendimiento del 45% en la transformación de madera en troza a madera aserrada para con respecto a la especie mencionada anteriormente. Actualmente a través de los procesos de modernización y tecnología óptima la industria forestal ha obtenido maquinaria que pueda obtener mejores rendimientos que el oficialmente propuesto por el Instituto Nacional de Bosques INAB.

Puesto que también la capacitación, selección y depuración de las trozas aunado a lo mencionado anteriormente incrementa significativamente el rendimiento en la transformación de madera aserrada. Por lo que el estudio de rendimiento en la transformación de madera en rollo a madera aserrada fue enfocado hacia dos industrias forestales ubicadas en el municipio de Flores, Petén, siendo éstos:

El Desarrollo Árbol Verde y Aserradero Selva Maya, los cuales presentaban características muy similares con respecto a su infraestructura, maquinaria y equipo.

Realizando un muestreo al azar de las trozas de caoba, y dándoles una transformación primaria mediante un aserradero portátil marca Wood-Mizer LT-40 HD y SD, obteniendo un rendimiento medio por cada metro cúbico en rollo aserrado del 56 % para el Aserradero Árbol Verde y 53% para el aserradero Selva Maya lo que equivale a 237 y 225 pies tablares respectivamente. Donde este rendimiento está estrechamente relacionado con el diámetro medio, y puede ser afectado por el encargado de aserrar las trozas.

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años las instituciones nacionales e internacionales se han preocupado por los crecientes problemas derivados de la utilización inadecuada de los recursos naturales y la poca información existente. Los recursos que son principalmente afectados son la Flora y el agua, en diferentes intensidades, de acuerdo al manejo forestal y la intensidad de uso.

Las concesiones forestales en el departamento de Petén, son la mayor productora de madera aserrada de la especie Caoba *Swietenia macrophylla*, producto del manejo sostenible de sus bosques naturales latifoliados. Actualmente la industria forestal del departamento en su mayoría se encuentra concentrada en el municipio de Flores, Petén, esto por su accesibilidad y servicios que presta, entre estas se encuentran el Aserradero Árbol Verde y el aserradero Selva Maya ubicadas en la aldea el Remate de dicho municipio.

Pero actualmente dichos aserraderos no cuentan con información sobre el rendimiento por metro cúbico, en la transformación de madera en rollo a madera aserrada de la especie *Swietenia macrophylla*, como también aquellos factores que influyen directamente con el rendimiento en el aserradero. Por lo que en el presente estudio se determinó y evaluó el rendimiento de los aserraderos Árbol Verde y Selva maya, del municipio de Flores Petén, generando información que pueda ser de utilidad para futuras planificaciones en el mismo.

## **4. MARCO TEÓRICO**

### **4.1 Marco Conceptual**

#### **4.1.1 El rendimiento en la transformación de la madera**

El incremento de los costos de la madera agudiza la necesidad de aprovechar la troza con mayor eficacia. La industria del aserrío se caracteriza por su escasa eficacia de conversión. La proporción del insumo de trozas que se transforma en madera aserrada rara vez alcanza el 60-70 por ciento. El resto queda en forma de costeros, recortes y testas, virutas y aserrín. Los informes del Japón acusan índices medios de recuperación nada menos que del 60 al 70 por ciento. Pero la elevación del índice de recuperación no mejora necesariamente el rendimiento económico, ya que éste puede significar sencillamente un incremento de la producción de las calidades inferiores de madera aserrada. Más bien se logrará esta mejora, por ejemplo, con un aserrío más preciso, con la reducción de la vía de sierra y cortando la troza con el máximo aprovechamiento (3).

##### **4.1.1.1 Transformación de la madera**

La forma más simple de industrializar la madera a partir de la troza, es su aserrado mediante gran variedad de máquinas y herramientas que pueden ser desde manual hasta los aserríos sumamente automatizados, capaces de producir 250 m<sup>3</sup> de madera aserrada en sección de trabajo (22).

La posible evaluación de las industrias del aserrío esta sujeta a la interacción de un sin número de variables, a las que se agregan constantemente nuevos factores que pueden modificar considerablemente las operaciones iniciales (22).

El desarrollo de este sector esta influenciado directamente por la materia prima, por la evaluación de la demanda de los productos y de la disposición de absorber cambios técnicos, además influirán de manera determinante los efectos del hombre sobre el medio ambiente (22).

Egas 1998 (6) expresa que estas tendencias tienen consecuencias importantes sobre la industria del aserrado actual, por lo que a nivel mundial se han implementado diferentes tecnologías que permiten mejorar los indicadores de la eficiencia en los aserraderos, desde las basadas en la aplicación de prácticas de aserrado, apoyándose fundamentalmente en la pericia y habilidad del personal técnico del aserradero y en las

características de la materia prima, hasta las que parten de programas de optimización que son capaces de analizar diferentes variables y tomar decisiones de aserrado en un corto intervalo de tiempo.

Por lo tanto, el objetivo es brindar algunas consideraciones para elevar la eficiencia del proceso de transformación mecánica en los aserraderos a partir de la utilización de la herramienta matemática (6).

#### **4.1.1.2 LOS ASERRADEROS**

Zabala 1991 (22) expresa que las instalaciones industriales donde se efectúa la elaboración de la madera en rollo para obtener madera aserrada, reciben el nombre de serrerías o aserraderos.

En los aserraderos, aunque es recomendable que la operación de elaboración se complemente con la de secado en cámaras de los productos obtenidos, no tienen por qué incluir necesariamente esta última. Generalmente, los productos finales de aserrado, tablones, tablas, vigas y viguetas se venden con una humedad del 15 al 20 % (22).

Reciben el nombre de aserrios porque los elementos o máquinas principales que intervienen en este proceso industrial está constituido exclusivamente por sierras (7).

#### **4.1.1.3 Tipos de aserraderos**

Los dos tipos de aserraderos que pueden presentarse en esta industria son:

- Instalaciones fijas
- Instalaciones móviles

Las instalaciones fijas, son aquellas que tienen una ubicación permanente y por tanto todos sus elementos responden a esta idea. Sus ciclos de producción suelen ser completos, es decir, sus productos finales, entre otros, pueden ser los siguientes:

- Tablón, en bruto
- Tablón canteado y retestado
- Tablón canteado, retestado y calibrado
- Tablón canteado, retestado, calibrado y clasificado
- Tablón canteado, retestado, calibrado, secado y clasificado.

Así como los mismos productos para la tabla, viga o viguetas. Su producción puede necesitar o no del escalón de reaferrado intermedio (7).

Las instalaciones móviles, montadas sobre chasis pueden desplazarse hasta las mismas fuentes de abastecimiento de materias primas. Sus productos elaborados suelen ser generalmente tablonos, tablas, viguetas y vigas en bruto. Generalmente necesitan de la industria reaserradora (10).

La principal ventaja y el origen de las instalaciones móviles es que los residuos y desperdicios quedan en el mismo lugar de elaboración, y lo que se transporta en lugar de ser madera en rollo es producto elaborado o semielaborado, con la consiguiente economía de transporte. La integración de la industria aserradora con la de tableros de partículas anula, en un cierto porcentaje, esta ventaja (10).

#### **4.1.1.4 ¿Qué es un Estudio de Rendimiento en el Aserrío de Trozas?**

Un estudio de rendimiento, es la evaluación del volumen de madera aserrada que se obtiene de cada troza procesada. Es decir, es la relación entre el volumen producido de madera aserrada y el volumen en troza. También se define como la determinación del volumen de productos obtenidos versus el volumen de troza empleada (5).

#### **4.1.1.5 Eficiencia del proceso de Aserrado**

Los indicadores de la eficiencia de conversión de las trozas en madera aserrada se pueden dividir en dos grandes grupos:

1. Los indicadores relacionados con la eficiencia de conversión en volumen (5).
  - Rendimiento volumétrico total
  - % de desperdicio de aserrín
  - % de desperdicio de otros residuos
2. Los indicadores de la eficiencia de conversión en valor, también denominados indicadores del rendimiento en valor (5).
  - Valor por m<sup>3</sup> de madera aserrada
  - Valor por m<sup>3</sup> de trozas

### a. Rendimiento Volumétrico total

Egas 1998 expresa que existen un grupo de autores que consideran dos formas de expresar el rendimiento volumétrico: rendimiento volumétrico por surtidos y rendimiento volumétrico total. El primer indicador no es más que la relación entre el volumen de madera aserrada de un pedido específico o de una clase de calidad determinada y el volumen total de madera aserrada obtenida de una troza o grupo de trozas (ambos volúmenes en m<sup>3</sup>) expresado en porcentaje.

El rendimiento volumétrico total caracteriza el nivel de utilización de la madera de la troza sin considerar las dimensiones ni la calidad de madera aserrada obtenida por lo que es un indicador importante pero no suficiente para caracterizar la eficiencia de conversión en un aserradero (6).

Igualmente existe otro grupo de autores que mencionan tres formas de expresar el rendimiento volumétrico: el % de conversión, el factor de conversión de madera aserrada y el factor de conversión cúbico (6).

- 1) El % de conversión (PC), es el volumen actual de madera aserrada, expresado en pies tablas, obtenido por pié-tabla de madera aserrada de una troza estimada por la escala neta de Scribner, multiplicado por 100:

$$PC = \frac{\text{Volumen actual de madera aserrada (pie tabla)}}{\text{Volumen estimado por escala de Scribner (pies - tabla)}} * 100 \quad (1)$$

Obsérvese que un pie tabla de madera aserrada equivale a 0,0023597 m<sup>3</sup>

- 2) El factor de conversión de madera aserrada (FCMA) no es más que la cantidad de pies-tabla nominales de madera aserrada obtenidos por pie cúbico de volumen de una troza multiplicado por 100

$$FCMA = \frac{\text{Volumen nominal de madera aserrada}}{\text{Volumen de la troza}} * 100 \quad (2)$$

Obsérvese que un pie cúbico equivale a 0,0283168 m<sup>3</sup>

- 3) El factor de conversión cúbico (FCC) es el por ciento de volumen cúbico de madera aserrada que se obtiene por unidad de volumen cúbico de una troza.

$$FCC = \frac{\text{Volumen de madera aserrada (m}^3\text{)}}{\text{Volumen de la troza (m}^3\text{)}} * 100 \quad (3)$$

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos, se determina sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen a continuación (6).

$$V_{ma} = \sum_{i=1}^n (a_i * g_i * l_i) \quad (4)$$

**donde:**

**V<sub>ma</sub>**- Volumen de madera aserrada de una troza, m<sup>3</sup>

**a<sub>j</sub>, g<sub>j</sub>, l<sub>j</sub>**- ancho, grueso y longitud de la pieza *i* obtenida de una troza o grupo de troza, *m*

**n**- Número de piezas aserradas de una troza

## **b. DIFERENTES FACTORES QUE INCIDEN SOBRE EL RENDIMIENTO VOLUMÉTRICO DE MADERA ASERRADA.**

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

El efecto del diámetro sobre el rendimiento nos obliga a pensar en la necesidad del perfeccionamiento del aserrado de trozas de pequeñas dimensiones y trazar, además, una política que garantice en lo posible un mayor desarrollo de las existencias

maderables con el objetivo de obtener trozas de grandes dimensiones y calidad destinadas a los aserraderos (7).

- 2) **Longitud, conicidad y diagrama de troceado.** Se puede afirmar que el rendimiento de las trozas en el proceso de aserrio es afectado por la longitud y por la conicidad de las trozas. En la medida que aumenten ambos parámetros se incrementa la diferencia entre los diámetros en ambos extremos de la troza (7).

Por lo tanto una de las formas de incrementar el rendimiento volumétrico es mediante la optimización del troceado, produciendo lógicamente madera aserrada de dimensiones requeridas. Esta observación es de peculiar importancia para la industria cubana del aserrio (7).

- 3) **Calidad de las trozas.** Uno de los factores a tener en cuenta, particularmente en la sierra principal, para maximizar el volumen es la calidad de la troza. Las dimensiones y el volumen de la madera aserrada bajo las prácticas corrientes del procesamiento tienen una relación directa con las diferentes clases de calidad de trozas; por lo que se apoya por diferentes autores la relación de las características de la superficie de las trozas y el rendimiento de madera aserrada para establecer normas para la clasificación de trozas (7).

El efecto de la calidad de la troza, especialmente la incidencia de trozas torcidas en la calidad y volumen de la madera aserrada. Todoroki (1995) expresa que existe una regla general de que un incremento en 0.1 de la proporción torcedura-diámetro conduce al decrecimiento del rendimiento volumétrico en un 5 % (10).

- 4) **Tipo de Sierra** El ancho de corte influye sobre el rendimiento de madera aserrada ya que una vía de corte ancha se traduce en más pérdida de fibras de madera en forma de aserrín y la disminución de la eficiencia de la maquinaria (7).

La influencia del tipo de sierra sobre el rendimiento suscita la necesidad de adquirir aserraderos de sierra principal de banda, en lugar de sierra alternativa múltiple o circular, para un mejor aprovechamiento de la materia prima; aspecto este que se logra entre otros aspectos a partir de la regulación del ancho de corte (7).

Una vía de corte ancha se traduce en más pérdidas de fibra de madera en forma de aserrín y la disminución de la eficiencia de la maquinaria (22)

- 5) **Diagrama de corte** Las opiniones de los especialistas coincide con diferentes autores, que afirman que los diagramas de corte tienen gran incidencia sobre la eficiencia de la conversión de madera aserrada; dependiendo de la calidad de la troza, del diseño del aserrio y de los gradientes de precio de la madera existente (7).

La aplicación de diagramas de corte teniendo en cuenta el diámetro, longitud, calidad y conicidad de las trozas; así como el tipo de sierra y otros factores, es una variante que favorece el incremento en calidad y cantidad de la producción de madera aserrada. Ello ha sido la base de los programas de optimización que permiten obtener resultados relevantes en la industria del aserrado (7).

El análisis integral de toda esta información debe contribuir de cierta forma para que los empresarios forestales puedan elaborar estrategias que permitan contrarrestar el efecto negativo o favorecer el efecto positivo de los factores que más influyen sobre el rendimiento volumétrico, condición necesaria para elevar los niveles de aprovechamiento de la materia prima y la eficiencia industrial en general (10).

#### **4.1.2 La estadística como herramienta**

La estadística es la herramienta básica que se usa en la vida cotidiana. Los métodos estadísticos permiten describir las características de una población, por medio de valores tales como la media, desviación estándar, llamados valores estadísticos. La población se define como el conjunto de unidades o elementos de la misma naturaleza cuya definición debe ser claramente expresada. Un bosque se considera como un conjunto de un número finito de parcelas de igual o desigual tamaño, o como el conjunto de todos los árboles que viven en el bosque (20).

La muestra está formada por colecciones no traslapadas de elementos que cubren la población completa, estas son tomadas para la inferencia. Los elementos son los objetos sobre los cuales se realizan las predicciones (15).

El valor estadístico (descriptivo), es el valor calculado, que representa ciertas características y que se llama parámetro cuando se calcula de la población. Cuando se toma de una muestra se llama estadístico (15).

#### 4.1.2.1 Estadística descriptiva

La estadística descriptiva analiza, estudia y describe los individuos de una población. Su finalidad es obtener información, analizarla, elaborarla y simplificarla lo necesario para que pueda ser interpretada cómoda y rápidamente y, por tanto, pueda utilizarse eficazmente para el fin que se desee. El proceso que sigue la estadística descriptiva para el estudio de una cierta población consta de los siguientes pasos:

- Selección de caracteres dignos de ser estudiados.
- Mediante encuesta o medición, obtención del valor de cada individuo en los caracteres seleccionados.
- Elaboración de tablas de frecuencias, mediante la adecuada clasificación de los individuos dentro de cada carácter.
- Representación gráfica de los resultados (elaboración de gráficas estadísticas).

Obtención de parámetros estadísticos, números que sintetizan los aspectos más relevantes de una distribución estadística (15).

##### a. Media aritmética

Es una media de tendencia central para describir una característica de la población y se define por la fórmula (15):

$$X = \frac{\sum xi}{n} \quad \text{en donde}$$

$X_i$  = valor observados de la  $i$ -ésima unidad muestral

$N$  = Número de unidades de la muestra (tamaño de la muestra)

### b. Desviación estándar

Es el índice de dispersión más usado para medir la desviación de los valores individuales con respecto a la media. Un valor bajo indica una población homogénea, un valor alto indica una población heterogénea. La desviación estándar se puede estimar por dos fórmulas (16).

Fórmula conceptual

$$S = \sqrt{\frac{\sum xi^2 - (\sum xi)^2}{n-1}}$$

$S$  = Desviación estándar

$X_i$  = valor observado de la  $i$ -ésima unidad muestral

$n$  = tamaño de la muestra

### c. Coeficiente de variación

Es el índice usado para la dispersión en términos relativos y equivale a expresar la desviación como porcentaje de la media. El coeficiente de variación permite comparar la variabilidad de población que tiene diferentes medias y se calcula por (16)

$$CV = \frac{S}{X} \quad \text{De donde:}$$

$CV$  = Coeficiente de variación en %

$S$  = Desviación estándar

$x$  = Media aritmética

#### d. Error estándar

En un muestreo lo que más nos interesa, aparte de la media, es conocer su exactitud. Se sabe que cada media es estimada con base en un muestreo. Tiene un error estadístico, el cual también hay que calcular. A diferencia de la desviación que mide el promedio de las desviaciones de las observaciones individuales respecto de la media muestra, el error estándar mide el desvío de las medias muestrales respecto de la media. Esta se calcula por la fórmula (16).

$$S_x = \frac{S}{\sqrt{nx\left(1 - \frac{n}{N}\right)}} \quad \text{De donde:}$$

S = desviación estándar

n = tamaño de la muestra (número de unidades muestrales)

N = tamaño de la población (expresado en parcelas)

#### 4.1.2.2 Calculo del número de muestras

Para determinar el tamaño de muestra se procedió a la realización de un muestreo previo para poder determinar la varianza y la media de los datos recopilados para poder hacer uso de la formula del MSA (muestreo simple aleatorio) que se muestra a continuación (16):

$$n = \frac{N * S^2 * Z_{(\alpha/2)}^2}{N * d^2 + (S^2 * Z_{(\alpha/2)}^2)}$$

En donde:

n= Tamaño de muestra definitivo (numero de trozas a evaluar)

N= Tamaño de la población (cantidad de trozas procesadas por aserradero)

$d$ = Precisión de muestreo utilizada (Para ambos aserraderos 10%)

$S^2$ = Varianza encontrada en el muestreo preliminar

$Z^2$ = Valor de significancia para una distribución Normal

#### 4.1.2.3 Regresión

Para el proceso de estimar una de las variables (la variable dependiente) de la otra (la variable independiente), se pueden utilizar las siguientes (15):

Tipo de Regresión

- lineal
- logarítmica
- exponencial
- parabólica
- y de potencias, para la realización de dichos cálculos se utilizo de tomar un tipo de regresión para cada especie de árboles encontrados en el bosque manglar.

Los modelos serán seleccionados según su coeficiente de correlación siempre que este sea mayor de 0.80.

#### 4.1.3 Descripción botánica de la Caoba *Swietenia macrophylla*

##### 4.1.3.1 Clasificación Taxonómica (2)

- **Nombre científico:** *Swietenia macrophylla* King.
- **Familia :** Meliaceae
- **Nombres comunes:** Acaju dámerique, aguano, “brasilian mahogany”, caoba, chacalte, “mahogany”, mara, mogno, orura.

**4.1.3.2 Distribución y hábitat:** *S. macrophylla* se localiza en los bosques húmedos de la cuenca del Caribe Mexicano, a través de América Central, hasta Brasil y Perú. Se desarrolla en climas húmedos y bajas elevaciones, con una amplitud altitudinal desde el nivel del mar hasta los 900 m; alcanzando mejor conformación en suelos bien drenados. Debido a que ha sido plantada extensivamente en el país, es difícil establecer su distribución natural (2).

**4.1.2.3 Descripción del árbol:** los árboles de *S. macrophylla* son grandes, alcanzando alturas hasta 30 a 45 m, con diámetros de hasta 2 ó más m. La corteza externa es gris, fisurada. Las hojas paripinadas, alternas, con hojuelas opuestas, de 3 a 5 pares. Inflorescencia en panícula axilar, con flores pequeñas, blanco amarillentas. El fruto en cápsula ovoide de 12 a 15 cm (2).

**4.1.3.4 Descripción de la madera:** la madera presenta una marcada diferencia de coloración entre albura y duramen. En condición seca, la albura es blanca rosácea, mientras el duramen es rojizo oscuro. El veteado es atractivo, en el plano tangencial. El grano es recto a entrecruzado. La textura es mediana. El brillo es elevado. Los anillos de crecimiento son medianamente visibles a simple vista. El olor es agradable y aromático, sin sabor característico. El parénquima axial, apotraqueal marginal, radios medios, poros medianos visibles a simple vista (2).

**4.1.3.5 Otras características de la madera:** la madera de *S. macrophylla* es moderadamente pesada (densidad 0.45 peso seco al horno / volumen verde). Los valores de contracción son bajos y uniformes; dándole excelente estabilidad dimensional. Las propiedades de dureza y resistencia mecánica la hacen extremadamente buena para una madera de su densidad. Es fácil de secar, tanto al natural como en estufa. Presenta excelentes propiedades de trabajabilidad, aunque en algunas ocasiones la madera de tensión puede provocar defectos durante el cepillado. Su durabilidad natural es alta (2).

**4.1.3.6 Usos:** *S. macrophylla* es una especie que produce una de las maderas de ebanistería más conocidas del mundo. Se emplea en construcciones de lujo y solidez, en decoración de interiores, trabajos de ebanistería fina, tornería de lujo, instrumentos musicales, chapa decorativa, trabajos de gabinete y construcciones marinas (2).

## 4.2 Marco Referencial

### 4.2.1 Ubicación del área de estudio

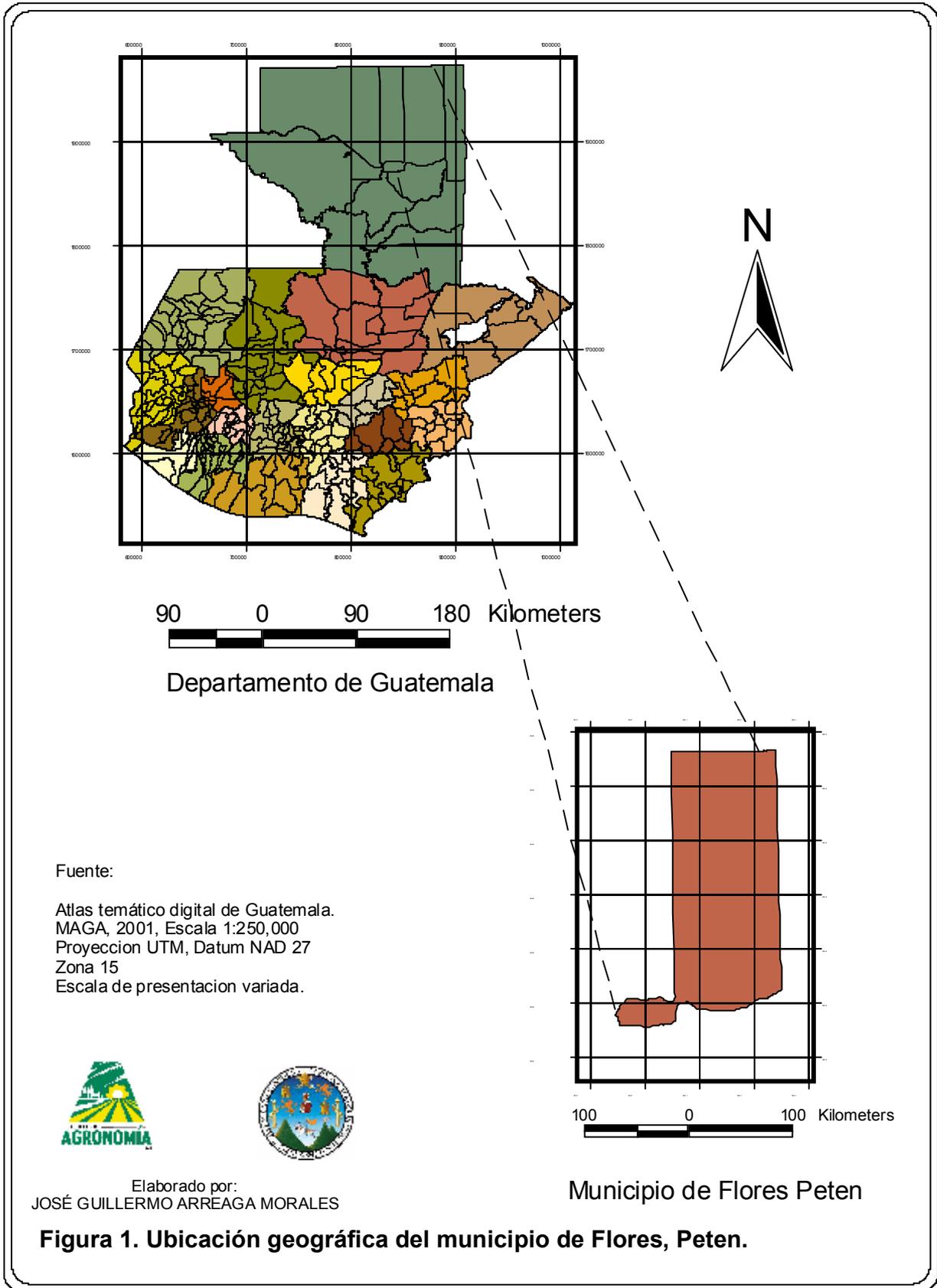
Los aserraderos Árbol Verde y Selva Maya, Se encuentran ubicados en el municipio de Flores del departamento de Peten. Encontrándose en la carretera principal, camino a la aldea el Remate (13).

### 4.2.2 Descripción del Municipio

El municipio de Flores, es uno de los más ricos en recursos naturales, culturales y económicos, en la isla del mismo nombre, está ubicada la cabecera departamental, lo que es el punto de encuentro en eventos especiales tanto culturales como sociales, económicos y turísticos. Debido a su atractivo turístico, la actividad principal de sus habitantes es la producción y venta de servicios dirigidos a esa área (12).

#### 4.2.2.1 Límites del Municipio

- **AL NORTE:** el paralelo  $17^{\circ} 49'$ , límite con México, comprendido entre el meridiano  $89^{\circ} 20'$  y  $89^{\circ} 42'$
- **AL ESTE:** el municipio de Melchor de Mencos, meridiano  $89^{\circ} 20'$ , en el tramo comprendido del paralelo  $17^{\circ} 49'$ .
- **AL SUR:** se encuentra la línea que constituye el límite actual entre los municipios de Flores, con los de Santa Ana y San Francisco.
- **AL OESTE:** el Municipio de San José, el meridiano  $89^{\circ} 42'$  desde su intersección con la línea media del lago Petén Itzá hasta el paralelo  $17^{\circ} 49'$ , y el municipio de San Benito, Petén. Ubicación geográfica del municipio, se presenta en la figura 1.



### **4.2.3 Descripción de los aserraderos**

Los aserraderos están constituidos principalmente con Sociedades civiles, donde se pueden encontrar varios asociados, conformando una estructura jerárquica para el manejo de el bosque, aserradero y los bienes (9).

#### **4.2.3.1 Aserradero Árbol verde**

Árbol Verde es una Organización Comunitaria con iniciativa Empresarial Local, forman parte de la zona de adyacencia del Parque Nacional Tikal, declarado patrimonio Mundial de la Humanidad por la UNESCO en 1,979 (9).

Mediante la implementación del aserradero y el manejo de las concesiones forestales se esta reduciendo la pobreza, a través de la generación de empleo, mejores salarios y capacitaciones ejemplo: en el año 2002 se generaron 7,077 jornales de trabajo, 225 plazas fijas, en lo que va del año se han generado 5,696 jornales y 106 plazas fijas, a la vez los socios tienen derechos a reparto de utilidades para fin de año (1).

#### **4.2.3.2 Aserradero Selva Maya**

Los miembros de la Comunidad de Selva Maya, luego de haber pasado gran parte de su vida traficando madera y ganándose la vida al margen de la ley, hoy día se han transformado en un próspero ejemplo que muchos están intentado imitar. Así es, el grupo de campesinos decidió hace 6 años terminar con los problemas legales y convertirse en amigos y protectores del bosque que antes depredaron, pero que sin embargo siempre quisieron, ya que fue en él, donde encontraron un medio de trabajo que les permitió subsistir por muchos años (1).

### **4.2.4 Estructura de las Asociaciones:**

#### **4.2.4.1 Árbol Verde**

La descripción es en forma grupal ya que son 344 socios de nueve comunidades que conforman la Sociedad casi la totalidad de socios y socias no son oriundos del lugar, la mayoría provienen del oriente y del sur de Guatemala. Principalmente vinieron con la intención de tomar tierras para destruir su bosque y sembrar maíz y frijol y hacer grandes fincas ganaderas (9).

#### **a. Concesiones Forestales**

La sociedad civil Árbol Verde tiene bajo su manejo de bosque una extensión de 64,973 ha, de las cuales cerca del cuarenta por ciento se encuentra bajo carácter de protección, solamente para el aprovechamiento de productos no maderables.

#### **b. Aprovechamiento forestal**

Anualmente se tiene un aprovechamiento de especies arbóreas de alto valor económico y de bajo valor económico, entre las especies aprovechadas se pueden encontrar el Cedro, la caoba, Pucte, Manchiche, Santa Maria, Rosul, Chechen y amapola, siendo la especie de la caoba la de mayor extracción con un promedio anual de 280 trozas, las cuales son trabajadas en el aserradero perteneciente a la organización.

#### **4.2.4.2 Selva Maya**

La Sociedad civil Selva maya esta conformada actualmente con 102 socios, los cuales la mayoría son oriundos del de peten, trabajando tanto con hombres como mujeres, generando trabajo y beneficios tanto para los socios, vecinos y el bosque (9).

#### **a. Concesiones Forestales**

La sociedad civil Bosque Maya tiene bajo su manejo de bosque una extensión de 24,708 ha, con muy poca área bajo carácter protegido.

#### **b. Aprovechamiento**

Anualmente se tiene un aprovechamiento de especies arbóreas de alto valor económico y de bajo valor económico, entre las especies aprovechadas se pueden encontrar el Cedro, la caoba, Canxán, Manchiche, Santa María, y Amapola, siendo la especie de la caoba la de mayor extracción con un promedio anual de 250 trozas, las cuales son trabajadas en el aserradero perteneciente a la organización.

#### **4.2.4.3 Asociación de comunidades forestales de Petén**

La sociedad Civil Árbol Verde y Selva Maya pertenecen a la Asociación de comunidades forestales de Petén, ACOFOP la cual esta estructurada por una Asamblea

General, integrada por los representantes legales de las 22 organizaciones socias así como también de socios individuales de las diferentes comunidades de Petén, en esta asamblea es electa una junta directiva integrada por 9 representantes legales, esta junta directiva es el órgano directivo y vela por la ejecución de las disposiciones de la Asamblea General, esta última también elige al Director Ejecutivo quien se encarga de llevar a cabo conjuntamente con su equipo de trabajo las actividades planificadas, siempre bajo la supervisión de la Junta Directiva.

#### 4.2.5 Características de los aserraderos

Los dos aserraderos evaluados cuentan con características muy similares, con respecto a su maquinaria y equipo, también sobre los volúmenes de madera de caoba con la que trabajan, por lo que a continuación se describen las características y especificaciones técnicas sobre los aserraderos portales con los que cuenta cada uno de los mismos, tomando en cuenta que presentan el mismo ancho de la cinta de corte.

**Cuadro 1. Características y especificaciones técnicas de los aserraderos portátiles Word-Mazer, en los aserraderos Árbol verde y Selva Maya.**

Características y especificaciones técnicas		Aserradero Árbol Verde	Aserradero Selva Maya
		LT 40 sD	LT 40HD
Dimensiones	Largo	8.0 m	7.4 m
	Ancho	2.4 m	2.4 m
	Altura	3.3 m	2.3 m
	Diámetro de volantes	48 cm	48 cm
	Peso	1909 kg	1481 kg
Capacidades máximas de corte	Longitud de trozas	6.4 m	6.4 m
	Diámetro de trozas	91.5 cm	91.5 cm
Fuente motriz		Motor 35 HP, diesel	Motor 25 HP, gasolina
Dimensiones de la sierra de cinta Otras características	Espesor	1.14 mm	1.14 mm
	Ancho	36 mm	36 mm
	Ancho de corte	5.0 mm	5.0 mm
	Movimiento vertical	Motor v 12 eléctrico	Motor v 12 eléctrico
	Extensión de bancada	1.8 m	1.8 m
	Girador de trozas	Brazo dentado hidráulico	Brazo dentado hidráulico
	Niveladores	Rodillos hidráulicos	Rodillos hidráulicos

Fuente: Wood-Maizer. 2006

## 5. OBJETIVOS

### 5.1 General

Determinar el rendimiento de madera en rollo de caoba *Swietenia macrophylla* a madera aserrada en los Aserraderos “El Desarrollo Árbol Verde y Aserradero Selva Maya”, en el municipio de Flores, Petén.

### 5.2 Específicos

- Calcular el rendimiento comercial en pies tablares y metros cúbicos de madera aserrada por metro cúbico de madera en rollo de la especie *Swietenia macrophylla*.
- Evaluar el rendimiento de dos aserraderos comunitarios del municipio de Flores, Petén.
- Determinar si los diámetros y el largo de las trozas, influyen en el rendimiento de madera aserrada de la especie *Swietenia macrophylla*.

## 6. METODOLOGÍA

### 6.1 Ubicación del Lugar de la investigación

La investigación fue llevada a cabo en el municipio de Flores, departamento de Petén, en dos aserraderos, el cual se encuentran El Aserradero Árbol Verde y el Aserradero Selva Maya.

### 6.2 Selección de los aserraderos

La selección de los aserraderos Árbol Verde y Selva Maya esta en función de su ubicación en el área productora de la materia prima *Swietenia macrophylla* así como su vinculación con las zonas productoras de las Concesiones Forestales otorgadas por el Estado en la Reserva de la BIOSFERA MAYA, también se tomo en cuenta que estos aserraderos presentan características muy similares con respecto a el numero de trozas con las que trabajan, el aserradero portátil y su infraestructura.

### 6.3 Recopilación de la información

Esta actividad se realizo a través de visitas de campo realizadas a los aserraderos Árbol Verde y Selva Maya, en cada uno de los cuales se recabo la información a través de registros de las variables necesarias para determinar la eficiencia del proceso de transformación de la madera en rollo a madera aserrada, siendo estas el volumen en metros cúbicos de madera en rollo y posteriormente el volumen de madera aserrada obtenida.

Esta información fue recopilada de su fuente original, como información básica de soporte para ser utilizada en la metodología de organización y análisis para el cumplimiento de los objetivos planteados en esta investigación.

### 6.4 Toma de muestras

Para la recopilación de las muestras de volúmenes para determinar eficiencia se siguió el proceso para la determinación del tamaño de muestreo optimo siguiendo el criterio del muestreo simple aleatorio, el cual consiste en la toma de muestras de una población con características homogéneas en cuanto a los factores que puedan tener efecto sobre la

variable a estudiar. La metodología seguida para los aserraderos en estudios fue la misma.

Para determinar el tamaño de muestra se procedió a la realización de un muestreo previo para poder determinar la varianza y la media de los datos recopilados para poder hacer uso de la fórmula del MSA (muestreo simple aleatorio) que se muestra a continuación:

$$n = \frac{N * S^2 * Z_{(\alpha/2)}^2}{N * d^2 + (S^2 * Z_{(\alpha/2)}^2)}$$

En donde:

n= Tamaño de muestra definitivo (numero de trozas a evaluar)

N= Tamaño de la población (cantidad de trozas procesadas por aserradero)

d= Precisión de muestreo utilizada (Para ambos aserraderos 10%)

S<sup>2</sup>= Varianza encontrada en el muestreo preliminar

Z<sup>2</sup>= Valor de significancia para una distribución Normal

#### 6.4.1 Tamaño de la muestra

Para determinar el tamaño de muestra utilizada, del muestreo preliminar realizado a 15 trozas en el aserradero Árbol Verde, se obtuvo una media de eficiencia de 53.55 %, con una varianza de 314.82, siendo una población total de 280 trozas de madera en rollo. Utilizando estos datos aplicados a la fórmula de tamaño de muestra para determinar la media se obtuvo como resultado un tamaño de muestra definitiva de 37 trozas de madera en rollo.

Del aserradero Selva Maya de cuya población total de 250, se tomó un total de 15 trozas para el muestreo preliminar del cual se obtuvo una media de 49.42% de eficiencia, con una varianza de 199.36, se determinó como tamaño de muestra definitiva la cantidad de 27 trozas de madera en rollo.

De manera de homogenizar las muestras teniendo las unidades maestras mínimas se procedió a tomar 55 trozas de cada aserradero.

#### **6.4.2 Selección y marcado de las Trozas**

La selección de las trozas se realizó seleccionando al azar un número de 55 trozas de cada aserradero con la finalidad de tener una representatividad de la población total. Una vez elegida la troza, se procedió al pintado de sus extremos con pintura al aceite, utilizando para ello pinturas de color blanca, siendo esta diferente a la que utilizan en los aserraderos, los cuales son de color amarilla, esto se realizó con la finalidad de evitar confusiones con el ingreso de otras trozas y por sobre todo para identificar y no perder de vista las tablas de la troza en estudio.

#### **6.4.3 Cubicación de Trozas**

Para la cubicación de las trozas que se analizaron se trabajó con la fórmula de Samalian que se utiliza para la cubicación de trozas paraboloide o cilíndrica, la cual consiste en el promedio del diámetro menor y del mayor. En la cual consiste en lo siguiente.

$$vol. = \left( \frac{A_1 + A_2}{2} \right) x L$$

En donde:

$A_1$  = Área basal del diámetro menor en  $m^2$ .

$A_2$  = Área basal del diámetro mayor en  $m^2$ .

L = Largo de la troza en m.

### **6.5 Determinación de la eficiencia**

La eficiencia de los aserraderos se calculó de acuerdo al volumen de los productos obtenidos a través del proceso de aserrio, teniendo en cuenta que los dos aserraderos, tanto Árbol verde como Selva maya trabajan con un aserradero portátil de la marca Wood Maizer con una cierra circular de 5 milímetros de ancho de corte

#### **6.5.1 Determinación del Rendimiento**

Para obtener el rendimiento en porcentajes se aplicaron dos relaciones, el porcentaje de conversión (PC) y el factor de conversión cúbico (FCC):

a. El % de conversión (PC), es el volumen actual de madera aserrada, expresado en pies tablas, obtenido por pié-tabla de madera aserrada de una troza estimada por la escala neta de Scribner, multiplicado por 100:

$$PC = \frac{\text{Volumen actual de madera aserrada} - PT}{\text{Volumen. estimado} - (\text{pies} - \text{tabla})} * 100$$

Obsérvese que un pié tabla (PT) de madera aserrada equivale a 0,0023597 m<sup>3</sup>

b. El factor de conversión cúbico (FCC) es el por ciento de volumen cúbico de madera aserrada que se obtiene por unidad de volumen cúbico de una troza.

$$FCC = \frac{\text{Volumen actual de madera aserrada} - m^3}{\text{Volumen. de. la. troza} - (m^3)} * 100$$

El volumen de madera aserrada total en cada troza en los aserraderos, se determinó sobre la base de las mediciones lineales obtenidas de madera aserrada de acuerdo con las expresiones que se exponen.

El volumen en tablas generalmente se obtiene en pies tablares; por ello se realizó la transformación del volumen de madera aserrada en pies tablares a metros cúbicos. Para esto se consideró la siguiente equivalencia:

$$VT = (L * a * g) m^3$$

VT= Volumen de tablas

L : largo de la tabla en metros

A: ancho de la tabla en metros

G: grosor de la tabla en metros

1 m<sup>3</sup>; = 424(pt) (aproximada de 423,84)

### **6.5.2 Volumen de los desperdicios**

El volumen de los desperdicios fue el resultado de la diferencia del volumen en troza y el volumen de madera aserrada.

## **6.6 Análisis estadístico de la información**

### **6.6.1 Estadística descriptiva**

Para lograr evaluar el rendimiento de los dos aserraderos se tomó como base del análisis la estadística descriptiva, principalmente la media, la varianza y el coeficiente de desviación, para lo que se realizó con la ayuda del programa de Office Excel.

### **6.6.2 Análisis de correlación**

El análisis que se aplicó para este tipo de estudios fue el de correlación, el cual determina el grado de relación que existe entre el rendimiento, el diámetro medio y la longitud, utilizando el programa de Office Excel, para la realización de este análisis. En el cual las variables a usar fueron las de diámetro y longitud, siendo significativa o tendrá relación cuando el coeficiente de correlación  $r$  sea mayor a 80 ó 0.8

### **6.6.3 Regresión lineal**

Se realizó una ecuación para aquellas variables que presentaron una mayor correlación, este tipo de análisis permite expresar una relación entre las variables por medio de una ecuación. Lo que se trata de establecer es si existe relación entre dos variables (**X** y **Y**). En este caso el diámetro medio de troza está representado por la variable independiente **X** y el volumen obtenido en tablas está representado por la variable dependiente **Y**.

## 7. RESULTADOS

### 7.1 Análisis estadístico de los aserraderos

De acuerdo a los resultados obtenidos en el proceso de aserrio de los aserraderos Árbol Verde y Selva Maya, se logró determinar los volúmenes totales de las trozas, rendimiento en metros cúbicos y en pies tablares (cuadro 7A y 8A), con lo que se determinaron los parámetros estadísticos para su análisis, (cuadro 2 y 3), los cuales presentan los parámetros estadísticos del Factor de conversión cúbico y del porcentaje de conversión.

**Cuadro 2. Medidas de tendencia central y de desviación del aserradero Árbol Verde**

<i>FCC</i>		<i>PC</i>	
Media	55,969	Media	61,636
Error típico	1,115	Error típico	1,219
Mediana	54,839	Mediana	60,454
Moda	#N/A	Moda	#N/A
Desviación estándar	8,272	Desviación estándar	9,044
Varianza de la muestra	68,423	Varianza de la muestra	81,795

**FCC:** El Factor de conversión cúbico

**PC:** El Porcentaje de conversión

### 7.1.2 Medidas de tendencia central y de desviación del aserradero Árbol Verde

Para el aserradero Árbol Verde se logro estimar mediante estadística descriptiva que el FCC presenta una desviación estándar y una varianza menor que el PC, por lo que los datos del FCC se encuentran más cercanos a la media, encontrándose que presentan un 56% de eficiencia, siendo equivalente a 237 Pies tablares ( $0.56 \text{ m}^3$ ) por metro cúbico aserrado, siendo el error típico menor en el factor de conversión cúbico que el del porcentaje de conversión.

### 7.1.2 Medidas de tendencia central y de desviación del aserradero Selva Maya

**Cuadro 3. Medidas de tendencia central y de desviación del aserradero Selva Maya**

<i>FCC</i>		<i>PC</i>	
Media	53.02	Media	57,386
Error típico	1,307	Error típico	1,439
Mediana	50,704	Mediana	55,889
Moda	52,941	Moda	58,500
Desviación estándar	9,691	Desviación estándar	10,673
Varianza de la muestra	93,911	Varianza de la muestra	113,912

**FCC:** El Factor de conversión cúbico

**PC:** El Porcentaje de conversión

Para el aserradero Selva maya, se logró estimar que el error típico, la desviación estándar y la varianza al igual que en el aserradero Árbol Verde fueron menores en el Factor de conversión cúbico que en el Porcentaje de conversión, presentando una eficiencia media del 53 %, lo que es equivalente a 225 pies tablares ( 0.53 m<sup>3</sup>) por metro cúbico aserrado.

### 7.2 Correlación entre la Rendimiento-Diámetro medio-Longitud

Para lograr evaluar la relación existente entre el rendimiento y las variables que afectan directamente el volumen de las trozas (diámetro medio y longitud), se realizó una prueba de correlación entre las variables, para cada aserradero, logrando determinar las correlaciones más altas entre las mismas, por lo que se muestran los resultados de una salida de Excel para cada aserradero en los cuadros 4 y 5. logrando determinar el grado de correlación de las variables

**Cuadro 4. Correlación entre diámetro, rendimiento y longitud del aserradero Árbol Verde**

	<i>Diámetro medio m</i>	<i>longitud m</i>	<i>Rendimiento M<sup>3</sup></i>
<i>Diámetro medio m</i>	1		
<i>longitud m</i>	0,1496	1	
<i>Rendimiento M<sup>3</sup></i>	0,8142	0,6223	1

Según los datos obtenidos mediante la correlación entre las variables, se logró determinar que existe una relación entre el rendimiento en m<sup>3</sup> (FCC), siendo esta igual o mayor al 0.8 que indica la literatura. Mientras que la longitud no se relaciona ni con el rendimiento ni con el diámetro, por lo que se descarta como una variable que pueda servir para la estimación del mismo.

De acuerdo con el rendimiento obtenido y el diámetro medio, que son las dos variables con mayor correlación de 0.81 se realizó regresión lineal (**Cuadro 9A**) y se obtuvo la siguiente ecuación.

$$Y = - 2.89 + 5.79X$$

**Donde**

Y = rendimiento en m<sup>3</sup>

X = diámetro medio en metros

Esta ecuación es factible únicamente con el Aserradero Árbol Verde y para la especie Caoba *Swietenia macrophylla*, con la cual se podrán realizar estimaciones de los rendimientos antes de procesar las trozas, únicamente determinando el diámetro medio mediante la fórmula de Smalian, lo que ayudará a realizar planificaciones sobre la comercialización de los productos de madera y cuales serán los futuros beneficios.

**Cuadro 5. Correlación entre diámetro, rendimiento y longitud del aserradero Selva Maya, 2005.**

	<i>Diámetro medio m</i>	<i>longitud m</i>	<i>Rendimiento M<sup>3</sup></i>
<i>Diámetro medio m</i>	1		
<i>longitud m</i>	0,303	1	
<i>Rendimiento M<sup>3</sup></i>	0,847	0,599	1

La variable del diámetro medio de las trozas de caoba están estrechamente relacionadas con la eficiencia volumétrica (FCC) en el aserradero, pues la longitud de las mismas presentan una correlación menor al 0.6, encontrándose debajo del 0.8.

De acuerdo con el rendimiento obtenido y el diámetro medio, que son las dos variables con mayor correlación de 0.847, considerándose como aceptable y que si presentan una correlación se logró realizar regresión lineal (**Cadro 9A**) y se obtuvo la siguiente ecuación.

$$Y = - 0.733 + 2.18X$$

**Donde**

Y = rendimiento en m<sup>3</sup>

X = Diámetro medio en metros

Esta ecuación es factible únicamente con el Aserradero Selva Maya y para la especie Caoba *Swietenia macrophylla*, con la cual se podrán realizar estimaciones de los rendimientos antes de procesar las trozas, únicamente con los diámetros medios, lo que ayudará a realizar planificaciones sobre la comercialización de los productos de madera.

**7.3 Análisis de los aserraderos**

Obteniendo el Factor de conversión cúbico ó el rendimiento cúbico, el menor error, desviación estándar y varianza, se procedió a realizar una comparación de la eficiencia de ambos aserraderos con dicho parámetro, como se muestra en el cuadro 6.

**Cuadro 6. Rendimiento de acuerdo al método del El Factor de conversión cúbico (FCC) de los aserraderos Árbol Verde y Selva Maya, 2005.**

FCC	Árbol verde	Selva Maya
	FCC	FCC
Media	55,969	53.02
Mediana	54,839	50,704
Desviación estándar	8,272	9,691
Varianza de la muestra	68,423	93,911
% de desperdicio	44%	57%

De acuerdo con el cuadro anterior, se logró determinar que el aserradero Árbol Verde, presenta una desviación estándar y una varianza menor que la del aserradero Selva Maya, lo que conlleva a que la media del rendimiento sea 3 % mayor en el aserradero Árbol Verde y por lo tanto un menor desperdicio de la madera rolliza, considerando que los dos aserraderos presentan características muy similares en su funcionamiento y en su estructura mecánica.

Esta diferencia que se presenta en los dos aserraderos muy probablemente, sea por una variable no tomada en cuenta, la cual es de gran importancia dentro de los aserraderos en Petén.

Siendo esta el encargado de realizar los cortes ó el aserrador, pues de el dependen la forma en que se aserrara la troza, pues en ambos aserraderos el aserrador era una persona muy especializada en la utilización del equipo y la maquinaria del aserradero como también con mucha experiencia.

Siendo las únicas personas que realizan esta actividad, pues pueden obtener el máximo rendimiento de las trozas, aunque los dos aserradores presentaban criterios distintos en cuanto a la visualización de los cortes a realizarse en las distintas trozas.

## 8. CONCLUSIONES

- El rendimiento promedio del aserrío industrial para el aserradero El Desarrollo Árbol Verde es del 56% en base al FCC ó rendimiento cúbico siendo equivalente a un rendimiento de 237 pies tablares por metro cúbico de madera rolliza, obteniendo un 44 % de desperdicio por metro cúbico en su transformación.
- El rendimiento promedio del aserrío industrial para el aserradero Selva Maya es del 53% en base al FCC ó rendimiento cúbico, el cual equivale a un rendimiento de 225 pies tablares por metro cúbico de madera rolliza, obteniendo un 47 % de desperdicios por metro cúbico en su transformación, lo cual podrá mejorarse al incrementar la eficiencia del equipo.
- La variable del diámetro medio de la troza esta estrechamente relacionada con el rendimiento de la madera en rollo a madera aserrada siendo la correlación para el Aserradero Árbol verde de 0.814 y para el aserradero Selva Maya de 0.847 encontrándose ambos arriba del 0.8 siendo lo recomendado por la literatura.
- Las ecuaciones para la estimación del rendimiento a partir de el diámetro medio, para cada aserradero se determinaron a través de una correlación lineal siendo la ecuación **Y= - 2.89 + 5.79X** para el aserradero árbol verde y **Y= - 0.733 + 2.18X** para el aserradero Selva Maya, las cuales son funcionales únicamente para cada aserradero y para la especie *Swietenia macrophylla*.
- El rendimiento de los aserraderos Árbol Verde y Selva Maya presentan diferencias del 3% siendo estas del 56% y 53% respectivamente, esta diferencia es debido a el criterio del aserrador para la realización de los cortes en cada troza, tratando de maximizar el rendimiento por cada una de ellas basándose en su experiencia en el manejo de aserrio y manejo del equipo del aserrador.

## 9. RECOMENDACIONES

- Evaluar el rendimiento de los otros aserraderos en Petén para poder obtener más datos para el análisis del rendimiento, en especies latifoliadas en Guatemala.
- Realizar estudios sobre la influencia de la calidad de la troza y forma de la troza, sobre el rendimiento en los aserraderos, para poder determinar más parámetros de discusión sobre el tema.
- Especializar a los encargados del aserrio de las mejores formas y métodos sobre el corte de la troza, para poder maximizar el rendimiento en ambos aserraderos.
- Crear matrices de doble entrada, tomando en cuenta el diámetro medio y el rendimiento para los diámetros más comunes que son trabajados en los aserraderos, los cuales pueden servir para futuras planificaciones en la comercialización.

## 10. BIBLIOGRAFÍA

- 1 ACOFOP (Asociación de Comunidades Forestales de Petén, GT). 2005. Logros alcanzados en el manejo de las concesiones forestales en Peten, memoria técnica (en línea). Consultado 18 abr de 2007. Disponible en <http://www.acofop.org/index.htm>
- 2 Arnold, JEM; Chipeta, ME; Fisseha, Y. 1998. La importancia de las pequeñas empresas forestales de transformación en los países en desarrollo. Roma, Italia, FAO, Depósitos de documentos de la FAO, Departamento de montes (en línea). Consultado 15 marzo 2007. Disponible en <http://www.fao.org/docrep/s4550s/s4550s00.HTM>
- 3 CATIE.CR. 2005. Árboles de Centroamérica: *Swietenia macrophylla* (en línea). Costa Rica. Consultado 15 mar 2006. Disponible en <http://www.arbolesdecentroamerica.info>.
- 4 CONAP (Consejo Nacional de Áreas Protegidas, GT). 2001. Plan maestro de la reserva de la biosfera Maya 2001–2005. Guatemala. 78 p.
- 5 Delgado García, JM. 2004. El espaciamiento inicial y la calidad de madera aserrada de *Pinus caribaea* var. *Caribaea* (en línea). Cuba, Universidad de Pinar del Río, Instituto de Investigaciones Forestales. Consultado 15 marzo 2007. Disponible en <http://www.ciget.pinar.cu/default.htm>
- 6 Denig, J. 1990. Control de la calidad en aserraderos de pino del sur. North Carolina, US, Cooperative Extension Service. 47 p.
- 7 Egas, AF. 1998. Consideraciones para elevar los rendimientos en aserraderos con sierras de banda. Tesis Dr. CC Forestales. Cuba, Universidad de Pinar del Río. 100 p.
- 8 Fahey, TD; Sachet, JK. 1993. Lumber recovery of ponderosa pine in Arizona and New Mexico. USDA Forest Service Paper PNW-RP-467. Portland, Oregon, US, Pacific Northwest Research Station. 18 p.
- 9 FORESCOM (Empresa Forestal Comunitaria de Servicios del Bosque, GT). 2003. Reglamento interno: empresa comunitaria de servicios del bosque, SA. Petén, Guatemala. 13 p.
- 10 \_\_\_\_\_. 2005. Integrantes de la organización; reseña histórica: memoria técnica (en línea). Consultado 18 abr 2007. Disponible en <http://www.acofop.org/index.htm>.

- 11 Fosado, O. 1999. Tratamiento económico matemático de la planificación operativa del proceso de aserrado de la madera. Tesis Doctor CC. Forestales. Pinar del Río, Cuba, Universidad de Pinar del Río. 100 p.
- 12 Grijalva G, JC. 2006. Informe final de diagnostico, investigación y servicios desarrollados en el municipio de Flores, Petén. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 73 p.
- 13 IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 2003. Diccionario geográfico de Guatemala. Guatemala. 1 CD.
- 14 INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1999. Manual técnico forestal. Guatemala. 100 p.
- 15 López B, EA. 2004. Introducción a la estadística general: unidad 1: estadística general. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 25 p.
- 16 MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT). 2000. Mapas temáticos digitales de la republica de Guatemala. Guatemala. Esc. 1:250,000. Color. 1 CD.
- 17 Patterson, D; Wiant, H Jr; Wood, GB. 1993. Comparison of the centroid method and taper systems for estimating tree volumes. North. J. Appl. For. 15 p.
- 18 Santos, G. 2005. Introducción a los sistemas de información geográfica; material de apoyo al curso: sistemas de información geográfica. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. 25 p.
- 19 SEGEPLAN (Secretaria General de Planificación, GT). 1994. Taller de trabajo sobre conceptos y definiciones fundamentales de geografía; temática para planificación regional: memoria. Guatemala, Guatemala. 31 p.
- 20 Toledo, E. 2002. Proyecto de desarrollo industrial y comercial de maderas latifoliadas poco conocidas sobre base sostenible en Guatemala, fase 1. Guatemala, Plan Acción Forestal de Guatemala. 36 p.
- 21 Wood-Maizer, CL. 2006. Especificaciones técnicas del aserradero LT-40 HD y SD, agencia de Chile (en línea). Consultado 27 ago 2006. Disponible en <http://www.woodmizer.cl/sawmills/saw-profe-lt40hydraulic.htm>
- 22 Zabala, D. 1991. Manual para el establecimiento de un sistema de control de la variación de refuerzos en madera aserrada. Chapingo, México, Universidad Autónoma de Chapingo. 49 p. (Serie de Apoyo Académico no. 44).

## 11. APÉNDICES

**Cuadro 7 A. Volumen y rendimiento del Aserradero Árbol Verde**

No.	D Menor (cm)	D Mayor (cm)	D medio (cm)	Long. (m)	Vol. (m <sup>3</sup> )	Rendimiento		Vol Est . PT	FCC	PC	% des
						(pt)	(m <sup>3</sup> )				
1	45	49	47	3,06	0,53	116,00	0,27	204,58	51,44	56,70	48,56
2	39	49	44	2,41	0,37	72,75	0,17	142,77	46,23	50,96	53,77
3	43	44	43,5	2,9	0,43	70,50	0,17	165,77	38,58	42,53	61,42
4	44	60	52	2,82	0,61	174,25	0,41	235,81	67,04	73,89	32,96
5	46	52	49	2,23	0,42	127,50	0,30	162,35	71,24	78,54	28,76
6	45	46	45,5	2,59	0,42	87,00	0,21	162,00	48,72	53,70	51,28
7	69	78	73,5	2,9	1,24	285,00	0,67	475,04	54,42	60,00	45,58
8	49	51	50	3,53	0,69	173,00	0,41	266,69	58,84	64,87	41,16
9	49	54	51,5	2,15	0,45	90,75	0,21	172,65	47,67	52,56	52,33
10	38	45	41,5	2,6	0,35	85,25	0,20	136,23	56,78	62,58	43,22
11	63	66	64,5	2,37	0,77	178,75	0,42	298,00	54,41	59,98	45,59
12	86	94	90	3,81	2,43	561,25	1,32	934,08	54,50	60,09	45,50
13	37	38	37,5	1,94	0,21	44,00	0,10	82,42	48,44	53,38	51,56
14	35	40	37,5	3,82	0,42	94,00	0,22	163,00	52,31	57,67	47,69
15	43	48	45,5	3,45	0,56	117,50	0,28	216,42	49,24	54,29	50,76
16	51	62	56,5	2,71	0,69	110,00	0,26	263,81	37,82	41,70	62,18
17	40	48	44	4,26	0,65	211,50	0,50	251,19	76,37	84,20	23,63
18	72	87	79,5	2,77	1,39	373,75	0,88	533,54	63,55	70,05	36,45
19	90	90	90	2,49	1,58	344,00	0,81	609,27	51,22	56,46	48,78
20	77	80	78,5	2,91	1,41	346,50	0,82	541,88	58,00	63,94	42,00
21	67	77	72	2,61	1,07	203,75	0,48	410,69	45,00	49,61	55,00
22	71	82	76,5	3,16	1,46	375,75	0,89	561,54	60,70	66,91	39,30
23	70	75	72,5	3,79	1,57	424,00	1,05	602,50	67,03	70,37	32,97
24	71	75	73	3,82	1,60	430,50	1,02	615,38	63,46	69,96	36,54
25	51	58	54,5	4,01	0,94	203,50	0,48	361,27	51,10	56,33	48,90
26	57	57	57	3,67	0,94	265,00	0,63	360,19	66,74	73,57	33,26
27	63	71	67	3,46	1,22	306,75	0,72	470,85	59,10	65,15	40,90
28	40	41	40,5	2,78	0,36	77,00	0,18	137,77	50,70	55,89	49,30
29	57	62	59,5	3,81	1,06	291,00	0,69	408,15	64,67	71,30	35,33
30	67	76	71,5	3,68	1,48	333,75	0,79	570,54	53,06	58,50	46,94
31	45	54	49,5	4,16	0,81	177,25	0,42	310,46	51,78	57,09	48,22
32	60	62	61	2,56	0,75	139,25	0,33	287,85	43,88	48,38	56,12
33	49	55	52	4,13	0,88	210,25	0,50	338,46	56,35	62,12	43,65
34	64	75	69,5	4,98	1,90	458,25	1,08	731,19	56,85	62,67	43,15
35	53	54	53,5	4,76	1,07	278,75	0,66	411,58	61,43	67,73	38,57
36	56	57	56,5	5,05	1,27	347,00	0,82	487,00	64,63	71,25	35,37
37	52	52	52	4,73	1,00	283,50	0,67	386,35	66,56	73,38	33,44
38	68	79	73,5	3,79	1,62	376,00	0,89	621,96	54,84	60,45	45,16
39	48	52	50	3,53	0,69	140,50	0,33	267,00	47,74	52,62	52,26
40	48	50	49	3,7	0,70	157,25	0,37	268,46	53,14	58,57	46,86
41	63	63	63	2,54	0,79	179,50	0,42	304,54	53,46	58,94	46,54

42	82	90	86	5,18	3,02	718,50	1,69	1159,81	56,20	61,95	43,80
43	70	70	70	5,03	1,94	583,25	1,38	744,54	71,06	78,34	28,94
44	65	74	69,5	4,28	1,63	385,00	0,91	627,12	55,69	61,39	44,31
45	72	90	81	4,33	2,26	528,50	1,25	868,77	55,18	60,83	44,82
46	74	86	80	3,1	1,57	343,75	0,81	602,69	51,74	57,04	48,26
47	68	76	72	2,84	1,16	298,00	0,70	446,12	60,59	66,80	39,41
48	74	74	74	2,9	1,25	277,50	0,65	479,69	52,48	57,85	47,52
49	62	64	63	4,93	1,54	469,50	1,11	591,23	72,03	79,41	27,97
50	57	58	57,5	2,28	0,59	138,25	0,33	227,73	55,08	60,71	44,92
51	49	51	50	3,29	0,65	124,50	0,29	248,54	45,43	50,09	54,57
52	46	53	49,5	4,07	0,79	159,00	0,38	302,77	47,64	52,52	52,36
53	65	76	70,5	2,84	1,12	282,50	0,67	429,00	59,74	65,85	40,26
54	50	51	50,5	2,9	0,58	131,25	0,31	223,42	53,30	58,75	46,70
55	53	56	54,5	3,76	0,89	239,00	0,56	343,58	63,10	69,56	36,90
TOTAL	57,60	63,22	60,41	3,42	<b>57,79</b>	14000,25	33,02	22226,23	57,14	61,64	44,03

**Cuadro 8 A. Volumen y rendimiento del Aserradero Selva Maya**

No.	D menor (cm)	D mayor (cm)	D medio (cm)	Long. (m)	Vol (m <sup>3</sup> )	Rendimiento		Vol Est. PT	FCC	PC	% des
						(pt)	(m <sup>3</sup> )				
1	53	58	55,5	3,16	0,77	185,75	0,44	296,15	57,14	62,7	42,9
2	49	55	52	3,29	0,7	170,25	0,4	269,23	57,14	63,2	42,9
3	51	59	55	4,05	0,97	318,12	0,75	373,08	77,32	85,3	22,7
4	57	59	58	4,04	1,07	280,12	0,66	411,54	61,68	68,1	38,3
5	73	81	77	4,4	2,05	532,74	1,26	788,46	61,46	67,6	38,5
6	45	49	47	1,97	0,34	78,75	0,19	130,77	55,88	60,2	44,1
7	39,5	41	40,25	2,01	0,26	49,75	0,12	100,00	46,15	49,8	53,8
8	49	52	50,5	2,64	0,53	113,5	0,27	203,85	50,94	55,7	49,1
9	42	43	42,5	2,12	0,3	46,25	0,11	115,38	36,67	40,1	63,3
10	43	46	44,5	2,76	0,43	91	0,21	165,38	48,84	55,0	51,2
11	67	71,5	69,25	4,23	1,59	338,75	0,8	611,54	50,31	55,4	49,7
12	49	53,5	51,25	2,9	0,6	99,25	0,23	230,77	38,33	43,0	61,7
13	45,5	52,3	48,9	3,37	0,64	198	0,47	246,15	73,44	80,4	26,6
14	47,5	52	49,75	3,48	0,68	153,75	0,36	261,54	52,94	58,8	47,1
15	47,5	57	52,25	3,89	0,84	162,12	0,38	323,08	45,24	50,2	54,8
16	48	54,5	51,25	4,13	0,86	189,5	0,45	330,77	52,33	57,3	47,7
17	49	55	52	4,36	0,93	162,25	0,38	357,69	40,86	45,4	59,1
18	48	50	49	3,74	0,71	152,62	0,36	273,08	50,70	55,9	49,3
19	39,5	46,5	43	4,38	0,64	117,37	0,28	246,15	43,75	47,7	56,3
20	54,5	61	57,75	4,09	1,07	205,5	0,48	411,54	44,86	49,9	55,1
21	42	46,5	44,25	3,75	0,58	112,25	0,26	223,08	44,83	50,3	55,2
22	50,5	56	53,25	3,87	0,86	187	0,44	330,77	51,16	56,5	48,8
23	48	56	52	3,41	0,73	197,12	0,46	280,77	63,01	70,2	37,0
24	51,5	55,5	53,5	3,47	0,78	166	0,39	300,00	50,00	55,3	50,0
25	53	58,5	55,75	3,91	0,96	238,5	0,56	369,23	58,33	64,6	41,7
26	77	81	79	4,65	2,28	562,12	1,33	876,92	58,33	64,1	41,7
27	46,5	51,5	49	2,98	0,56	120	0,28	215,38	50,00	55,7	50,0
28	60	60	60	4,18	1,18	236,25	0,56	453,85	47,46	52,1	52,5
29	53	56	54,5	2,65	0,62	115,25	0,27	238,46	43,55	48,3	56,5
30	40,5	42,5	41,5	3,08	0,42	81	0,19	161,54	45,24	50,1	54,8
31	56,5	57	56,75	4,73	1,2	324,99	0,77	461,54	64,17	70,4	35,8
32	47	49	48	4,36	0,79	159,37	0,38	303,85	48,10	52,5	51,9
33	59	61	60	3,48	0,98	216	0,51	376,92	52,04	57,3	48,0
34	42	45	43,5	2,53	0,38	89	0,21	146,15	55,26	60,9	44,7
35	41	46	43,5	3,5	0,52	155,62	0,37	200,00	71,15	77,8	28,8
36	40	41	40,5	3,48	0,45	74,37	0,18	173,08	40,00	43,0	60,0
37	40,5	45	42,75	3,53	0,51	83	0,2	196,15	39,22	42,3	60,8
38	44	47	45,5	2,99	0,49	89,5	0,21	188,46	42,86	47,5	57,1
39	55	60	57,5	4,48	1,17	207	0,49	450,00	41,88	46,0	58,1
40	63	64	63,5	4,13	1,31	270,87	0,64	503,85	48,85	53,8	51,1
41	48,5	42	45,25	3,75	0,61	122	0,29	234,62	47,54	52,0	52,5
42	42	48	45	3,73	0,6	135	0,32	230,77	53,33	58,5	46,7
43	77	83	80	2,54	1,28	231,25	0,55	492,31	42,97	47,0	57,0
44	52	70	61	3,75	1,12	341,75	0,81	430,77	72,32	79,3	27,7

45	71	76,5	73,75	2,87	1,23	276,75	0,65	473,08	52,85	58,5	47,2
46	71	75,5	73,25	2,61	1,1	180	0,42	423,08	38,18	42,5	61,8
47	45	47	46	2,57	0,43	82	0,19	165,38	44,19	49,6	55,8
48	73	80	76,5	3,81	1,75	309,49	0,73	673,08	41,71	46,0	58,3
49	85	90,5	87,75	4,71	2,85	693,87	1,64	1096,15	57,54	63,3	42,5
50	75	85	80	4,15	2,09	456,5	1,08	803,85	51,67	56,8	48,3
51	58	67,5	62,75	2,52	0,78	235	0,55	300,00	70,51	78,3	29,5
52	50	61,5	55,75	3,26	0,8	202,87	0,48	307,69	60,00	65,9	40,0
53	54	59	56,5	2,83	0,71	153,37	0,36	273,08	50,70	56,2	49,3
54	52,5	59	55,75	2,52	0,62	175,5	0,41	238,46	66,13	73,6	33,9
55	64	70	67	2,9	1,02	229	0,54	392,31	52,94	58,4	47,1
TOTAL					<b>49,72</b>	11154,9	26,31	19130,77	52,92	57,4	47,9

**Cuadro 9 A. Regresión lineal para diámetro medio y rendimiento en m<sup>3</sup> del aserradero Árbol Verde.**

Troza	x	Y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy	Troza	x	Y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy
no.	d1/2	Rend. (m <sup>3</sup> )				no.	d1/2	Rend. (m <sup>3</sup> )			
1	0,47	0,27	0,22	0,07	0,13	28	0,405	0,18	0,16	0,03	0,07
2	0,44	0,17	0,19	0,03	0,07	29	0,595	0,69	0,35	0,48	0,41
3	0,43	0,17	0,18	0,03	0,07	30	0,715	0,79	0,51	0,62	0,56
4	0,52	0,41	0,27	0,17	0,21	31	0,495	0,42	0,25	0,18	0,21
5	0,49	0,3	0,24	0,09	0,15	32	0,61	0,33	0,37	0,11	0,20
6	0,455	0,21	0,21	0,04	0,10	33	0,52	0,5	0,27	0,25	0,26
7	0,735	0,67	0,54	0,45	0,49	34	0,695	1,08	0,48	1,17	0,75
8	0,5	0,41	0,25	0,17	0,21	35	0,535	0,66	0,29	0,44	0,35
9	0,515	0,21	0,27	0,04	0,11	36	0,565	0,82	0,32	0,67	0,46
10	0,415	0,2	0,17	0,04	0,08	37	0,52	0,67	0,27	0,45	0,35
11	0,645	0,42	0,42	0,18	0,27	38	0,735	0,89	0,54	0,79	0,65
12	0,9	1,32	0,81	1,74	1,19	39	0,5	0,33	0,25	0,11	0,17
13	0,375	0,1	0,14	0,01	0,04	40	0,49	0,37	0,24	0,14	0,18
14	0,375	0,22	0,14	0,05	0,08	41	0,63	0,42	0,40	0,18	0,26
15	0,455	0,28	0,21	0,08	0,13	42	0,86	1,69	0,74	2,86	1,45
16	0,565	0,26	0,32	0,07	0,15	43	0,7	1,38	0,49	1,90	0,97
17	0,44	0,5	0,19	0,25	0,22	44	0,695	0,91	0,48	0,83	0,63
18	0,795	0,88	0,63	0,77	0,70	45	0,81	1,25	0,66	1,56	1,01
19	0,9	0,81	0,81	0,66	0,73	46	0,8	0,81	0,64	0,66	0,65
20	0,785	0,82	0,62	0,67	0,64	47	0,72	0,7	0,52	0,49	0,50
21	0,72	0,48	0,52	0,23	0,35	48	0,74	0,65	0,55	0,42	0,48
22	0,765	0,89	0,59	0,79	0,68	49	0,63	1,11	0,40	1,23	0,70
23	0,725	1,05	0,53	1,10	0,76	50	0,575	0,33	0,33	0,11	0,19
24	0,73	1,02	0,53	1,04	0,74	51	0,5	0,29	0,25	0,08	0,15
25	0,545	0,48	0,30	0,23	0,26	52	0,495	0,38	0,25	0,14	0,19
26	0,57	0,63	0,32	0,40	0,36	53	0,705	0,67	0,50	0,45	0,47
27	0,67	0,72	0,45	0,52	0,48	54	0,505	0,31	0,26	0,10	0,16
						55	0,545	0,56	0,30	0,31	0,31
<b>Ecuación Y = a + bx</b>											
<b>Y = -2.89 + 5.79X</b>											
						Total	33,22	33,09	21,11	26,67	22,15
						Pro.	0,60	0,60			

$$\text{Coeficiente de regresión } b = \frac{55 * 22.15 - (33.22 * 26.67)}{55 * 21.11 - (33.22)^2} = \frac{332.27}{57.48} = 5.78$$

$$\text{Coeficiente de regresión } a = \frac{33.09 - 5.78 * 33.22}{55} = \frac{-158.92}{55} = -2.89$$

**Cuadro 10 A. Regresión lineal para diámetro medio y rendimiento en m<sup>3</sup> del aserradero Selva Maya.**

Troza	x	Y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy	Troza	x	Y	x <sup>2</sup>	y <sup>2</sup>	xy
no.	d1/2	Rend. (m <sup>3</sup> )				no.	d1/2	Rend. (m <sup>3</sup> )			
1	0,56	0,44	0,31	0,19	0,24	28	0,60	0,56	0,36	0,31	0,34
2	0,52	0,40	0,27	0,16	0,21	29	0,55	0,27	0,30	0,07	0,15
3	0,55	0,75	0,30	0,56	0,41	30	0,42	0,19	0,17	0,04	0,08
4	0,58	0,66	0,34	0,44	0,38	31	0,57	0,77	0,32	0,59	0,44
5	0,77	1,26	0,59	1,59	0,97	32	0,48	0,38	0,23	0,14	0,18
6	0,47	0,19	0,22	0,04	0,09	33	0,60	0,51	0,36	0,26	0,31
7	0,40	0,12	0,16	0,01	0,05	34	0,44	0,21	0,19	0,04	0,09
8	0,51	0,27	0,26	0,07	0,14	35	0,44	0,37	0,19	0,14	0,16
9	0,43	0,11	0,18	0,01	0,05	36	0,41	0,18	0,16	0,03	0,07
10	0,45	0,21	0,20	0,04	0,09	37	0,43	0,20	0,18	0,04	0,09
11	0,69	0,80	0,48	0,64	0,55	38	0,46	0,21	0,21	0,04	0,10
12	0,51	0,23	0,26	0,05	0,12	39	0,58	0,49	0,33	0,24	0,28
13	0,49	0,47	0,24	0,22	0,23	40	0,64	0,64	0,40	0,41	0,41
14	0,50	0,36	0,25	0,13	0,18	41	0,45	0,29	0,20	0,08	0,13
15	0,52	0,38	0,27	0,14	0,20	42	0,45	0,32	0,20	0,10	0,14
16	0,51	0,45	0,26	0,20	0,23	43	0,80	0,55	0,64	0,30	0,44
17	0,52	0,38	0,27	0,14	0,20	44	0,61	0,81	0,37	0,66	0,49
18	0,49	0,36	0,24	0,13	0,18	45	0,74	0,65	0,54	0,42	0,48
19	0,43	0,28	0,18	0,08	0,12	46	0,73	0,42	0,54	0,18	0,31
20	0,58	0,48	0,33	0,23	0,28	47	0,46	0,19	0,21	0,04	0,09
21	0,44	0,26	0,20	0,07	0,12	48	0,77	0,73	0,59	0,53	0,56
22	0,53	0,44	0,28	0,19	0,23	49	0,88	1,64	0,77	2,69	1,44
23	0,52	0,46	0,27	0,21	0,24	50	0,80	1,08	0,64	1,17	0,86
24	0,54	0,39	0,29	0,15	0,21	51	0,63	0,55	0,39	0,30	0,35
25	0,56	0,56	0,31	0,31	0,31	52	0,56	0,48	0,31	0,23	0,27
26	0,79	1,33	0,62	1,77	1,05	53	0,57	0,36	0,32	0,13	0,20
27	0,49	0,28	0,24	0,08	0,14	54	0,56	0,41	0,31	0,17	0,23
						55	0,67	0,54	0,45	0,29	0,36
						Total	30,57	26,32	17,73	17,54	16,24
						Pro.	0,56	0,48			

Ecuación  $Y = a + bx$

$$Y = -0.733 + 2.18X$$

$$\text{Coeficiente de regresión } b = \frac{55 * 16.24 - (30.57 * 26.32)}{55 * 17.73 - (30.57)^2} = \frac{88.59}{40.621} = 2.18$$

$$\text{Coeficiente de regresión } a = \frac{26.32 - 2.18 * 30.57}{55} = \frac{-158.92}{55} = -0.733$$



**Figura 2 A. Trozas de Caoba y Cedro del Aserradero Árbol Verde.**



**Figura 3 A. Aserradero Portátil Wood-Maizer del Aserradero Árbol Verde**



**Figura 4 A. Sierra de banda y afilador, del aserradero Árbol Verde**



**Figura 5 A. Trozas de Caoba del aserradero Selva Maya**



**Figura 6 A. Aserradero portátil Wood-Maizer del aserradero Selva Maya.**