

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

ANATOMIA Y VARIACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS SELECCIONADAS EN LA MADERA  
JOVEN DE PINO CARIBE (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*) PRODUCIDA EN EL MUNICIPIO  
DE EL ESTOR, DEPARTAMENTO DE IZABAL.

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

POR  
JOSE ARTURO SANTOS GODOY.

En el acto de investidura como  
INGENIERO AGRÓNOMO  
EN  
RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
EN EL GRADO DE ACADEMICO DE  
LICENCIADO

Guatemala, octubre de 2004

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central

DL  
01  
T(2152)

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**RECTOR**

Dr. M.V. Luis Alfonso Leal Monterroso

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMIA**

DECANO  
VOCAL I  
VOCAL II  
VOCAL III  
VOCAL IV  
VOCAL V  
SECRETARIO

Dr. Ariel Abderraman Ortiz López  
Ing. Alfredo Itzep Manuel  
Ing. Manuel de Jesús Martínez Ovalle  
Ing. Erberto Raúl Alfaro Ortiz  
Maestro Juvencio Chom Canil  
Maestro Bayron Geovany González Chavajay  
Ing. Pedro Peláez Reyes

Guatemala  
Octubre de 2004

Honorable Junta Directiva  
Honorable tribunal examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad San Carlos de Guatemala

Respetados señores:

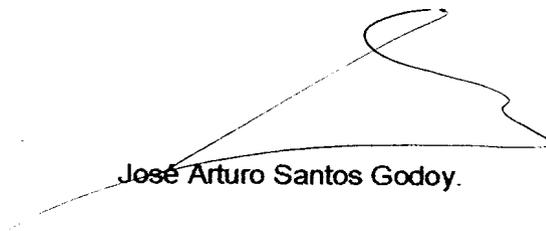
De conformidad con las normas establecidas en la ley orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración el trabajo de tesis titulado

**“ANATOMIA Y VARIACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS SELECCIONADAS EN LA MADERA JOVEN DE PINO CARIBE (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*) PRODUCIDA EN EL MUNICIPIO DE EL ESTOR, DEPARTAMENTO DE IZABAL”.**

Trabajo que presento como requisito previo a optar el título de Ingeniero Agrónomo en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de licenciado.

A la espera de una resolución favorable me despido de ustedes.

Atentamente



José Arturo Santos Godoy.

## TESIS QUE DEDICO

A:

Dios

Guatemala

Universidad San Carlos de Guatemala

Facultad de Agronomía

Mi Esposa e hija

Mi abuelo Julio (Don Julian)

Mis Padres

## ACTO QUE DEDICO

A:

Dios nuestro señor quien es guiador de mi camino, de mis actos, y quien en momentos de gloria y de tristeza siempre esta conmigo.

Mi país quien me a brindado la oportunidad de ser un hombre de bien que busca el desarrollo de su gente

Mi esposa, quien ha sido el ser que conforma la ecuación de mi vida, que con el factor amor forma la línea que nos lleva unidos al infinito

Mi hija, quien a llenado de amor y alegría nuestro hogar

Mis padres por ser quien me han enseñado a ser un hombre honesto y trabajar duro por alcanzar mis metas sin perjudicar a mis compañeros y que ningún camino es tan difícil que no pueda ser superado

Mi abuela (Tita) por siempre motivarme a superarme cada día más

Don Julio, por se ejemplo honradez y humildad y por acompañarme siempre en mi vida

Mis hermanos (Maco, Anna) por su apoyo

Don Fabián Fuentes por enseñarme que todo problema tiene solución y todo camino tiene un principio y un final, lo que depende es como lo caminemos

Familia Castillo que una amista no tiene limite en tiempo y espacio

## AGRADECIMIENTOS

A:

Dios por darme la oportunidad de vivir la vida al máximo con el amor de mi vida y por poder trabajar por un mejor futuro para mi familia y mi país

Universidad de San Carlos por haberme brindado las herramientas necesarias para poder sembrar el conocimiento y utilizar en el beneficio de mi gente.

Mi esposa, compañera, amiga; amor que me a llenado y completado en todo sentido, energía que me impulsa en el camino de la vida, estando a mi lado en todo momento; por ser quien en momentos difíciles me muestra que nada es imposible y que juntos todo lo podemos superar

Mis padres poder haberme dado la oportunidad de vivir y haberme dado su amor, apoyo

Mis hermanos por estar a mi lado en todo momento

Don Fabian por su apoyo y consejos que siempre son oportunos

Mi Abuela Tita por creer en mí

Don Julián por mostrarme lo honorable y humilde que hombre deber ser en todo momento

Mi asesor de tesis, Ing. José Mario Saravia, por sembrar en mí la curiosidad de poder conocer más

Mis padrinos de graduación, Ing. Carlos Anzuelo, Lic. Fabian Fuentes, Ing. Orden Rodas, ing. Luis R. Montes, por ser ejemplo de la humildad, honradez y firmeza que un profesional debe mostrar siempre, para poder luchar por el bienestar de su patria

Mis catedráticos: Ing. Edwin Cano, Ing. Miran Herrera, Lic. Carlos Quezada, Ing. José Miguel Leiva (Don Mike), Lic. Romeo Pérez y a todos aquellos maestros que me ayudaron en el camino de la vida que no todo esta en los libros

Mi maestra, amiga Teacher Silvia por haber tenido la paciencia necesaria para poder conformar un profesional

Mis compañeros y amigos; Luis Montes, Jorge Mario Monzón, Alejandro Días, Antonio López, Juan Pablo Marín, Pablo Toledo, Alfredo Suárez, Pablo Sigüenza, Roberto Carios Salazar, Gerson Aldana,

## CONTENIDO

	Página
INDICE DE FIGURAS	<i>iii</i>
INDICE DE CUADROS	<i>iv</i>
INDICE DE GRAFICAS	<i>v</i>
RESUMEN	<i>vi</i>
1. INTRODUCCIÓN	1
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
3. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Marco conceptual	3
3.1.1. Anatomía de la madera	3
3.1.1.1. Formación del xilema y floema	3
3.1.1.2. Xilema	3
3.1.1.3. Floema	4
3.1.1.4. Anillos de crecimiento	5
3.1.1.5. Anillos de crecimiento en las confiera	5
3.1.1.6. Constitución anatómica del tallo	5
3.1.1.7. Traqueidas axiales	8
3.1.1.8. Traqueadas radiales	8
3.1.1.9. Puntuaciones	9
3.1.1.10. Parénquima	11
3.1.1.11. Canales resiníferos	12
3.1.2. Madera Juvenil	14
3.1.3. Madera de reacción	14
3.1.4. Cortes de la madera	15
3.1.5. Propiedades físicas de la madera	15
3.1.5.1. Densidad básica de la madera	15
3.1.5.2. Contracción	16
3.1.5.3. Longitud de traqueida	16
3.1.5.4. Patrones de variación de la madera	17
3.2. Marco referencial	17
3.2.1. Marco referencial	17
3.2.1.1. Ubicación geográfica	17
3.2.1.2. Vías de acceso	17
3.2.1.3. Características biofísicas	21
3.2.2. Antecedentes del proyecto de reforestación Disloque	21
3.2.3. Distribución natural de Pinus caribaea	21
4. OBJETIVOS	24
4.1. Generales	24
4.2. Específicos	24
5. METODOLOGIA	24
5.1. Localización del área de recolección de las muestras	24
5.2. Recolección de muestras	25
5.2.1. Selección del sitio	25
5.2.2. Selección y número de secciones	25
5.3. Transporte del material al laboratorio	26
5.3.1. Designación del árbol	26

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE GUATEMALA  
 Biblioteca Central

	5.3.3.	Preparación del traslado	26
	5.3.4.	Almacenamiento	26
5.4.		Corte y preparación de las probetas	26
	5.4.1.	Marcador de probetas (factor b)	26
	5.4.1.1.	Claves	27
5.5.		Realización de los ensayos	28
	5.5.1.	Estudios de características anatómicas	28
	5.5.2.	Características físicas	29
	5.5.2.1.	Densidad de la madera (astm d 143-83)	29
	5.5.2.2.	Contracción de la madera (astm d 143-83)	29
	5.5.2.3.	Longitud de traqueidas	30
5.6.		Análisis de los resultados	30
6.		RESULTADOS	31
6.1.		Anatomía de la madera joven de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	31
	6.1.1.	Plano tangencial	31
	6.1.2.	Plano radial	33
	6.1.3.	Plano transversal	35
6.2.		Análisis de las propiedades físicas seleccionadas de la madera joven de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	37
	6.2.1.	Variación de la densidad en <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	37
	6.2.1.1.	Variación de la densidad de la madera en su distribución diamétrica y altitudinal dentro del árbol de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	41
	6.2.2.	Variación de la contracción en <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	47
	6.2.3.	Longitud de las fibras de la madera de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	53
	6.2.4.	Análisis de relación entre las propiedades físicas seleccionadas de la madera joven de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	54
7.		CONCLUSIONES	59
8.		RECOMENDACIONES	60
9.		BIBLIOGRAFIA	61
10.		APENDICES	63

## INDICE DE FIGURAS

Figuras	Páginas
1. Conformación anatómica de las pinophytas	6
2. Diagrama del leño de una pinophytas en los tres planos de observación	7
3. Diagrama de un par de puntuaciones simples	9
4. Diagrama de un par de puntuaciones semi-aureoladas	9
5. Diagrama de una puntuación areolada	10
6. Localización geográfica de la finca Semuc-6 y anexos	19
7. Mapa cartográfico Finca Semuc-6	20
8. Mapa de distribución natural de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i> en Guatemala	23
9. Orientación de puntos de obtención de muestras	25
10. Diagrama de las rodela obtenidas	26
11. Diagrama ejemplo de rodela obtenidas	27
12. Orientación de rodela	27
13. Fotografía 1. Corte tangencial (lente 10 x)	32
14. Fotografía 2. Corte tangencial (lente 100x)	32
15. Fotografía 3. Corte tangencial (lente 400x)	33
16. Fotografía 4. Corte radial (lente 10 x)	34
17. Fotografía 5. Corte radial (lente 100 x)	34
18. Fotografía 6. Corte radial (lente 400x)	35
19. Fotografía 7. Corte transversal (lente 100x)	36
20. Fotografía 8. Corte transversal (lente 400 x)	36

## INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Composición volumétrica estimada de los constituyentes celulares de una conifera típica	8
2. Distancia en Km. de la ruta Guatemala-Finca Semuc-6	17
3. Distancia en Km. de la ruta Guatemala –Finca Smecu- 6	18
4. Promedio general de densidad obtenida de los árboles de Pinus caribaea var. Hondurensis	38
5. Valores promedio de densidad de los 5 árboles de Pinus caribaea var. Hondurensis en estudio	39
6. Promedio general de los valores de densidad encontrados en 5 árboles de Pinus caribaea var. Hondurensis, procedentes de El Estor Izabal	42
7. Promedio general de (%) contracción volumétrica calculada de los 5 árboles de Pinus caribaea var. Hondurensis	47
8. Valores promedio generales de contracción de los 5 árboles en estudio	49
9. Promedio general de la contracción de la madera en relación a su distribución diamétrica	50
10. Promedio general de la variación de la contracción de la madera en relación su distribución altitudinal	51
11. Valores obtenidos de la relación (Contracción tangencial/ Contracción radial) en su distribución diamétrica	52
12. Valores obtenidos de la relación (Contracción tangencial/Contracción radial) en su distribución altitudinal	52
13. Promedio general (mm) de la longitud de las fibras de los 5 árboles en estudio	53

## INDICE DE GRAFICAS

Graficas	Página
1. Valores promedio general de la densidad de cada una de los 5 árboles en estudio	40
2. Variación de la densidad de la madera dentro del mismo árbol	43
3. Variación de la densidad dentro del árbol de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i> en relación a su distribución diamétrica y altitudinal	45
4. Variación de la densidad de la madera en relación a su distribución diamétrica y altitudinal	46
5. Comparación entre promedios de %Cvc de los 5 árboles en estudio	48
6. Variación de la contracción de la madera analizada en los tres planos en relación a su distribución diamétrica	50
7. Variación de la contracción de la madera en relación a la distribución altitudinal de la madera en estudio	51
8. Variación de la longitud de fibras en la madera de <i>Pinus caribaea</i> var. <i>Hondurensis</i>	54
9. Relación entre los valores promedio general de la densidad y los valores de promedio general de la contracción en relación a su distribución altitudinal	55
10. Relación entre los valores promedio general de la densidad y los valores promedio general de la contracción en relación a su distribución diamétrica	56
11. Relación entre valores promedio general de la longitud de fibras y los valores de promedio general de la densidad en relación a su distribución diamétrica	57
12. Relación entre los valores promedio general de la longitud de fibras y los valores promedio general de la densidad en relación a su distribución altitudinal	58

**ANATOMIA Y VARIACIÓN DE PROPIEDADES FÍSICAS SELECCIONADAS EN LA MADERA JOVEN DE PINO CARIBE (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*) PRODUCIDA EN EL MUNICIPIO DE EL ESTOR, DEPARTAMENTO DE IZABAL.**

**ANATOMY AND VARIATION OF SELECTED PHYSICAL PROPERTIES IN THE YOUNG WOOD OF CARIBIAN PINE (*Pinus Caribaea* var *Hondurensis*) PRODUCED IN EL MUNICIPIO DE EL ESTOR, DEPARTAMENT OF IZABAL**

**Resumen**

El conocimiento de la anatomía y propiedades físicas y mecánicas de la madera de las especies forestales es indispensable si se quiere contar con una base sólida que permita determinar la adecuada utilización de las mismas. La madera no es un material uniforme, por el contrario presenta una alta variabilidad en sus propiedades (van Buijtenen, 1963)

*Pinus caribaea* var *Hondurensis* es una especie forestal maderable que se distribuye en nuestro país desde los 0 hasta los 800 msnm (Rzedowski, 1978). Asimismo, es de importancia económica, pues se aprovecha para la producción de madera aserrada y triplay, entre otros usos (Eguiluz P., 1978). Sin embargo, poco se conoce sobre la variabilidad de la madera de esta especie, por lo cual existe la necesidad de contar con información más precisa que permita su mejor utilización.

De lo anterior, surge la inquietud del presente trabajo cuyo objetivo general estudiar la anatomía y la variación de las propiedades físicas seleccionadas de la madera joven de *Pinus caribaea* var *Hondurensis* tanto dentro del árbol como entre árboles.

El material estudiado se recolectó del proyecto de reforestación El Disloque/ Finca Semuc-6, la cual se encuentra en jurisdicción de municipio de El Estor, departamento de Izabal.

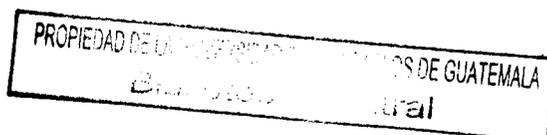
Para la colecta de muestras se utilizó las normas ASTM 143-83 (1). La cual indica que para fines prácticos de un estudio de orientación sobre las propiedades tecnológicas, es suficiente tener 5 árboles por especie, seleccionados al azar.

Seleccionados los árboles y cortados se midió la altura total del árbol y se marcó cada 1.20 m. Tomando como base los primeros 30 cm. a partir del suelo. Posteriormente se cortaron rodelas de 0.04 mts (40 mm) de espesor para estimar la densidad y rodelas de 0.10 mts (100mm) en el tocón, a 2.70m, 6.30m y a 11.1 m. de las cuales se extrajeron las probetas para la estimación de contracción de la madera y la longitud de fibras.

Las probetas de cada rodela seleccionada, se realizaron de forma cúbica de 0.025 m (25.4 mm.) de arista para los ensayos de densidad, contenido de humedad y anatomía, y de 0.025 x 0.025 x 0.1 m (25.4x25.4 x100 mm.) para ensayos de contracción y determinación de longitud de fibra.

Para la determinación de la densidad básica de la madera se obtuvo primero el peso seco y el volumen verde de las probetas con un contenido de humedad superior al 30%.

Para la determinación de la contracción de la madera, se obtuvo la dimensión de las probetas en verde y en seco, analizando los cambios en tres dimensiones (tangencial, longitudinal, radial) para poder determinar la contracción volumétrica total.



De las primeras rodajas utilizadas para estimar la contracción de cada árbol se extrajeron finas astillas, para la determinación de la longitud de fibras.

Para la realización del estudio anatómico se hizo necesario la observación microscópica de estas estructuras, para ello se elaboran cortes en los tres planos; radial, tangencial y transversal.

Para el análisis de resultados se ordenaron los datos obtenidos de la densidad, contracción, longitud de fibras para cada árbol. Luego de ello se utilizaron cuadros promedio por sección y se desarrollaron gráficas para poder realizar un análisis descriptivo de la variación de las propiedades físicas seleccionadas y así poder observar el comportamiento de cada una de las propiedades seleccionadas por árbol y por promedio de los 5 árboles.

Al finalizar el estudio se pudo concluir que, la madera juvenil esta conformada por células grandes con una pared reducida a diferencia que la madera madura posee células pequeñas pero sus paredes son de mayor tamaño, esto influyendo directamente en la variación de la madera.

La densidad promedio general encontrada fue de  $0.49 \text{ gr/cm}^3$ , con rango que va desde  $0.33 \text{ gr/cm}^3$  a  $0.64 \text{ gr/cm}^3$ . Se observo que existe variación entre árboles de la misma especie y dentro del mismo árbol mostrando en la sección transversal y longitudinal un patrón de variación continua, en relación al diámetro se observa un aumentando de la densidad de la médula hacia la corteza y en relación a la altura se observa una disminución de la densidad de la base hacia el ápice.

La contracción volumétrica varia desde 4.45% a 12.86%, con un valor promedio general de 8.322% mostrando un patrón de variación similar al de la densidad. Analizando la relación existente entre la contracción tangencial dentro de la contracción radial se determino la estabilidad de la madera, observando que la mayor estabilidad se encuentra en la periferia del árbol disminuyendo a medida que se acerca a la medula del mismo, de igual manera en sentido altitudinal a manera que se acerca a la copa del árbol la estabilidad tiende a disminuir.

En relación a la longitud de las fibras se observó una variación tanto entre de árboles como dentro del árbol, con valores que van desde 2.00mm a 3.25mm, y un valor promedio general de 2.45mm, pudiendo observar que en relación diamétrica las traqueidas mas largas se encuentran en la periferia y tienden a disminuir de largo hacia el centro del árbol, el patrón en relación altitudinal mostró que las traqueidas de menor tamaño están en la copa del árbol y las mas largas están en la parte baja del árbol.

La relación entre la densidad y la contracción es de carácter positiva tanto en su distribución altitudinal como diamétrica, de igual forma se observó que cuando las fibras son más largas la densidad es mayor

La madera de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* es una madera dura y posee una leve tendencia a agrietarse. No se requiere demasiados cuidados al someterla a procesos de secado. Las fibras son largas llegando a mediar hasta 3.3 mm de largo, lo anterior descrito hace ideal la madera de esta especie para la mueblería y madera de construcción

## 1. INTRODUCCION

El conocimiento de la anatomía y propiedades físicas y mecánicas de la madera de las especies forestales es indispensable si se quiere contar con una base técnica que permita determinar la adecuada utilización de las mismas. La densidad, la contracción y el tamaño de fibra, son características que están íntimamente relacionadas con las propiedades de resistencia de la madera en la construcción, con el rendimiento en la elaboración de pulpa para papel, con las unidades caloríficas generadas al utilizar la madera como combustión, en la elaboración de muebles y como material de construcción (Kollman, 1959) (11).

La madera no es un material uniforme, por el contrario presenta una alta variabilidad en sus propiedades, tal es el caso de la densidad (van Buijtenen), la que en muchas especies disminuye del centro a la periferia y de la base hacia el ápice (Daniel et al. , 1982; Hocker, 1984); La densidad es un factor que influye directamente sobre la contracción la cual a su vez varía de forma similar. Por supuesto, también se reconoce la variación que existe entre árboles, sitios rodiales y especies, pero se conoce que la variación entre árboles del mismo sitio es menor a la variación entre el mismo (Zobel y Van Buijtenen, 1989). Dichos conocimientos se emplean ampliamente en programas de mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1988) (21).

El *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, es una especie forestal maderable; El rango geográfico de la distribución natural de la especie en el mundo abarca, desde 27° 25' hasta la 12° 13' latitud norte y desde 71° 40' hasta la 89° 20' longitud oeste; y desde el nivel del mar hasta una altitud promedio de 800 msnm, a partir de la cual es sustituido por otras especies de pinophytas. En Guatemala ocurre a lo largo del pie de monte de la Sierra de las Minas en el valle del Motagua y no alcanza la costa pero llega a unos 50 Km de distancia (2).

Los bosques de Pino caribe han sido destruidos fuertemente y pocos rodiales quedan dispersos y defectuosos, su madera es de gran importancia económica ya que los periodos de rotación son bajos en comparación con otras especies; Dicha especie se aprovecha para la producción de madera aserrada y triplay, entre otros usos (Eguiluz P., 1978) (2). En nuestro país ha surgido un gran interés por poder reforestar con Pino Caribe, es por ello que el conocimiento adecuado de dicha especie nos conducirá a un buen manejo y por ende a mejorar los ingresos económicos que la madera deja en nuestro país.

De lo anterior, surge la inquietud del presente trabajo cuyo objetivo general es determinar las características anatómicas y la variación de propiedades físicas seleccionadas del árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* en la región de Izabal, para el mejor manejo y utilización de la madera joven. En base a la metodología planteada por las normas ASTM se obtuvieron 5 árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* de los cuales se extrajo rodajas de diferentes alturas, tomando aristas de (25.4mm x25.4mm) para poder determinar la densidad de las mismas y de (25.4x25.4x100mm) para determinar la contracción y la longitud de las fibras y muestras para realizar la descripción anatómica interna. Obteniendo como resultado que la madera *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* presenta una puntuación aerolada, de tipo pinoide, con radios uniseriados y fusiformes; la diferencia entre leño temprano y leño tardío se demarca claramente ya que el lumen del leño tardío está reducido en más de la mitad en comparación del lumen del leño temprano y de igual forma se observa que las células de la madera juvenil son más grandes pero con menor pared celular que las células de la madera madura. En relación a sus propiedades físicas el promedio general de la densidad de la madera fue de 0.49gr/cm<sup>3</sup> con valores que van desde 0.33gr/cm<sup>3</sup> a 0.64gr/cm<sup>3</sup>, para el análisis de la contracción se determinó el

porcentaje de contracción volumétrica calculada con valores que van desde 4.45% a 12.86%, con un valor promedio general de 8.322% y por último se determinó la longitud de las fibras con valores que van desde 2.00mm a 3.25mm, y un valor promedio general de 2.45mm. En relación a las propiedades físicas de la madera seleccionadas se pudo determinar poseen un patrón de variación continua tanto para la densidad, contracción y longitud de fibras observando que los mayores valores se encuentran en la parte baja del árbol en las cercanías de la periferia, y los valores más bajos están en el centro del árbol en dirección hacia la copa. La madera de esta especie es estable, posee una leve tendencia a agrietarse y no se requiere demasiado cuidados al someterla a proceso de secado, lo anterior descrito hace ideal la madera de esta especie para la mueblería y madera de construcción; Se debe tomar en cuenta para su manejo que esta es una madera muy heterogénea internamente lo cual bien manejado puede tener mercados selectivos.

## **2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Con el programa de incentivos fiscales autorizado y promovido por INAFOR, después por DIGEBOS; varias empresas que se dedican al sector forestal en Guatemala han ejecutado grandes proyectos de reforestación utilizando Pino caribe, uno de ellas es la compañía de maderas CODEMA, S.A, con apoyo de varias empresas efectuaron en la finca semuc-6, varios proyectos de reforestación con la Pino caribe var. Hondurensis. Actualmente la participación de los proyectos en el plan de incentivos fiscales ya esta por caducar, esto conlleva a que las empresas busquen un retorno económico mediante la comercialización del material extraído en las intervenciones que actualmente realizan como parte de su manejo silvicultura.

La mayor valoración del material obtenido será por medio de obtención de un valor agregado al mismo, esto mediante el desarrollo o enriquecimiento de las cadenas productivas de la madera, para lograr nuevos mercados, pero esto no se dará hasta saber las características de la madera, las cuales deben ser descritas y determinadas mediante la realización de estudios que proporcionen dicha información. Algunos de estos estudios ya han sido realizados en otras especies y muy pocos en Pino caribe.

Actualmente en nuestro país se han realizados pocos estudios de esta índole lo cual se refleja en el mal uso que se le da a la madera llevando a grandes desperdicios en la industria maderera y por ende limitando los ingresos económicos que dicha actividad deja al país. El presente estudio muestra antecedente sobre la variación de alguna de las más importantes propiedades físicas de la madera así como una descripción anatómica de la madera de Pinus caribea var. Hondurensis.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Marco conceptual

##### 3.1.1. Anatomía de la madera

La anatomía de la madera comprende el estudio de las características generales y organolépticas (son aquellas perceptibles por los órganos sensoriales) y las estructuras microscópicas y macroscópicas de la madera (3).

Se llama madera al conjunto de tejidos del xilema que forman el tronco, las raíces y las ramas de los vegetales leñosos, excluida la corteza. Se entiende por vegetales leñosos aquellos que presentan las características de ser plantas vasculares, es decir, tienen tejidos conductores especializados, xilema y floema. El xilema está lignificado y constituye la madera del vegetal maduro. Son plantas perennes, deben vivir más de 2 años. Además las plantas típicamente leñosas tienen crecimiento secundario o sea tienen un crecimiento en diámetro independiente del crecimiento longitudinal (17).

##### 3.1.1.1. Formación del xilema y floema

Entre la albura (xilema) y la corteza interna (floema) se encuentra una camada de células a la que se denomina región cambial o cambium. También se le conoce como cambium vascular y está constituido por una faja de células meristemáticas secundarias, las cuales son responsables de la formación de las células llamadas células madre del xilema y células madre del floema. Esas células pueden madurar y transformarse en xilema o floema.

Las células que constituyen el cambium son denominadas iniciales cambiales y son de dos clases: iniciales fusiformes y las iniciales radiales. Las primeras, son alargadas y las segundas ligeramente arredondeadas (16).

Las células iniciales fusiformes son las responsables por la formación de todo el sistema axial del tallo (fibras, traqueidas, parénquima axial y los elementos de los vasos), y las iniciales radiales originan el sistema radial (radios) (21).

El crecimiento en diámetro del tallo, es realizado gracias a las células iniciales fusiformes que se dividen tangencialmente en dos células. Una de ellas permanece meristemática como cambial y la otra crece, se divide una o más veces, diferenciándose en célula madura de floema o xilema.

El espesor del xilema es muy superior al del floema, debido a que las células iniciales cambiales producen mayor número de células madres de xilema. Además de eso, después de un periodo de aproximadamente un año, el floema pierde su actividad, se disloca para el exterior y constituye la corteza externa que se desprende periódicamente (22).

##### 3.1.1.2. Xilema

El xilema es un tejido estructural funcionalmente complejo, su función es conducción de agua, almacenamiento y sostén(17). En pinophytas los elementos conductores son uniseriados, alargados, con extremos aguzados y son llamadas traqueidas. Las células de almacenamiento son de parénquima y las de sostén son fibras y esclereidas (17).

**A. El sistema axial** en el leño de las gimnospermas consta enteramente de traqueidas que están intercomunicados por pares de puntuaciones areoladas, circulares u ovals. Los pares de puntuaciones son más abundantes en los extremos donde las traqueidas se traslapan. En general las puntuaciones están limitadas a las caras radiales de las células (7). Las traqueidas, también, presentan engrosamiento característico de material intercelular y membranas primarias en los bordes superiores e inferiores de los pares de puntuaciones. Estos engrosamientos se denominan Crásulas (11).

**B. El parénquima xilemático axial** De las coníferas está comúnmente distribuido por todo el anillo de crecimiento en forma de largos cordones.

**C. La estructura de los radios en xilema** se compone de células parenquimáticas, únicamente o de parénquima y traqueidas. Las células parenquimáticas radio medulares tienen protoplastos vivos en la albura y con frecuencia acumulados resinosos de color oscuro en el duramen.

**D. Las traqueidas radio medular** se distinguen de las parénquimas principalmente por sus puntuaciones areoladas y por la ausencia de protoplastos. También tienen membranas secundarias lignificadas (4). Los radios de las coníferas tienen una sola célula en anchura y de 1 a 20 en altura.

Las características métricas de los radios medulares se ponen de manifiesto por su longitud, anchura y altura. La anchura de los radios corresponde a su extensión tangencial y se expresa comúnmente por el número de células en esta dirección. La altura se mide en la dirección paralela al eje longitudinal del tallo (4).

### 3.1.1.3. Floema

El floema es un tejido complejo que difiere del xilema por estar compuesto de células vivas y su función es la conducción de los solutos y el sostén. El alimento se transporta en solución, a través de los miembros de los tubos cribosos, que son células bastante especializadas. Los miembros de estos tubos están organizados punta con punta, para formar tubos cribados. Los extremos de sus paredes poseen una serie de hoyos llamados placas cribadas. El floema también contiene células de parénquima y las de sostén son finas y esclereidas.

En las coníferas, el floema concuerda con el xilema en la relativa simplicidad de su estructura. El sistema vertical contiene células cribosas, células de parénquima y muchas veces fibras. Una característica típica del floema de coníferas es la ausencia de células acompañantes y la presencia de células albuminosas (7).

### 3.1.1.4. Anillos de crecimiento

En regiones donde las estaciones del año están bien definidas, como en los países de clima frío, en las estaciones de primavera y verano, cuando normalmente existe bastante luz, calor y agua, los árboles presentan un rápido crecimiento, que puede disminuir o cesar en las estaciones de otoño e invierno, cuando ocurre frío intenso y poca luz. Eso hace que el cambium tenga una actividad periódica, lo que da origen a los anillos o camas de crecimiento que son bien diferenciadas en las maderas de coníferas.

En las condiciones de Guatemala, los anillos de crecimiento se forman por las variaciones del régimen hídrico, a lo largo del año. La época de crecimiento coincide con la presencia de humedad. Durante la época seca hay una paralización del crecimiento. Lo anterior, permite que la madera de las coníferas producidas en la región presente anillos de crecimiento (2).

### **3.1.1.5. Anillos De Crecimiento En Las Confieras**

Los anillos de crecimiento presentan un aspecto céntrico al ser observadas en el plano transversal y en forma de conos superpuestos cuando visto en el plano longitudinal tangencial.

En un anillo de crecimiento se diferencian dos regiones, leño inicial y leño tardío. El leño inicial, como su nombre lo indica, se forma al inicio de la estación de crecimiento, presenta células con paredes delgadas, diámetros mayores y una longitud menor. El leño tardío, se forma al final de la estación de crecimiento y se caracteriza por estar constituido por células de paredes gruesas, de menor diámetro y más largas. La alternancia de leño inicial y leño tardío, forma los anillos de crecimiento en las coníferas.

En virtud de que anualmente se forma por lo regular un solo anillo de crecimiento, en las coníferas es muy fácil determinar la edad del árbol contando tales anillos. Esta es una posibilidad muy valiosa utilizada por la silvicultura. Las propiedades físicas y mecánicas del leño inicial y del leño tardío, son muy diferentes. El leño inicial es menos denso, consecuentemente, tiene menos resistencia. La presencia de los leños inicial y tardío en la madera, contribuye mucho a su comportamiento anisotrópico (15).

### **3.1.1.6. Constitución anatómica del tallo**

- Pinophytas: la organización celular de su tallo es bastante simple. En la Fig.1, se presenta la forma como se constituye. La madera de coníferas tiene una estructura más simple que la de especies latifoliadas. Se constituye de traqueidas con función conductora y de sostén, y de células parenquimáticas. No presentan vasos.

## **Estructura de las Pinophytas**

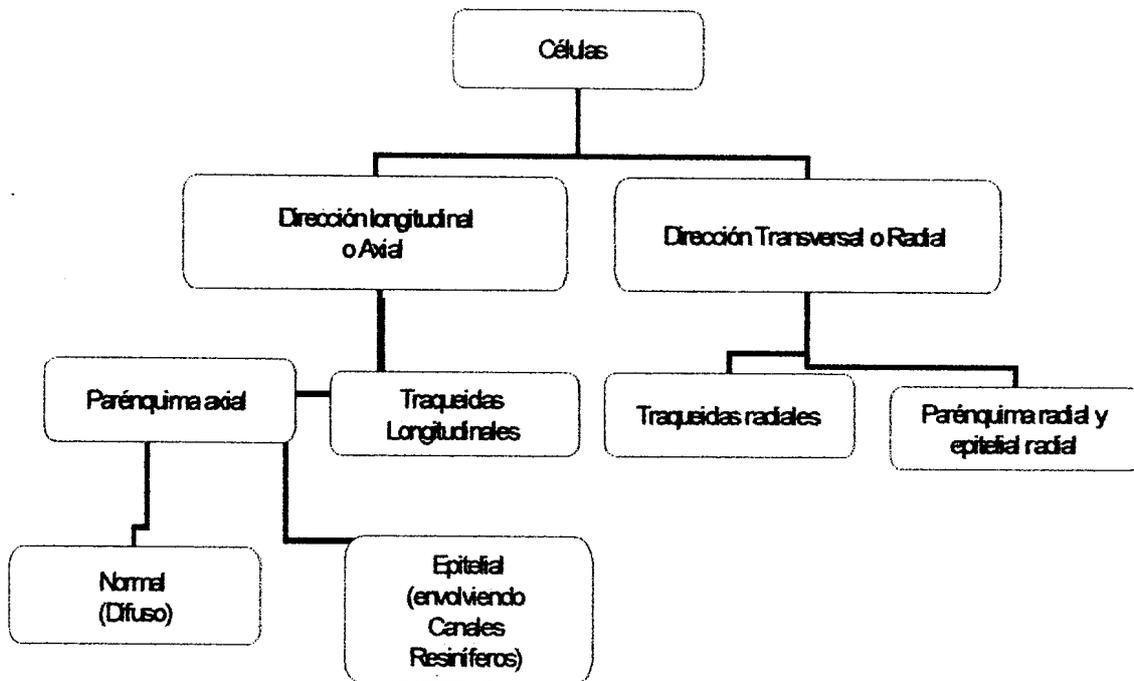


Figura 1. Conformación anatómica de las pinoideas. Fuente: SIAU, J. F. 1971 (19).

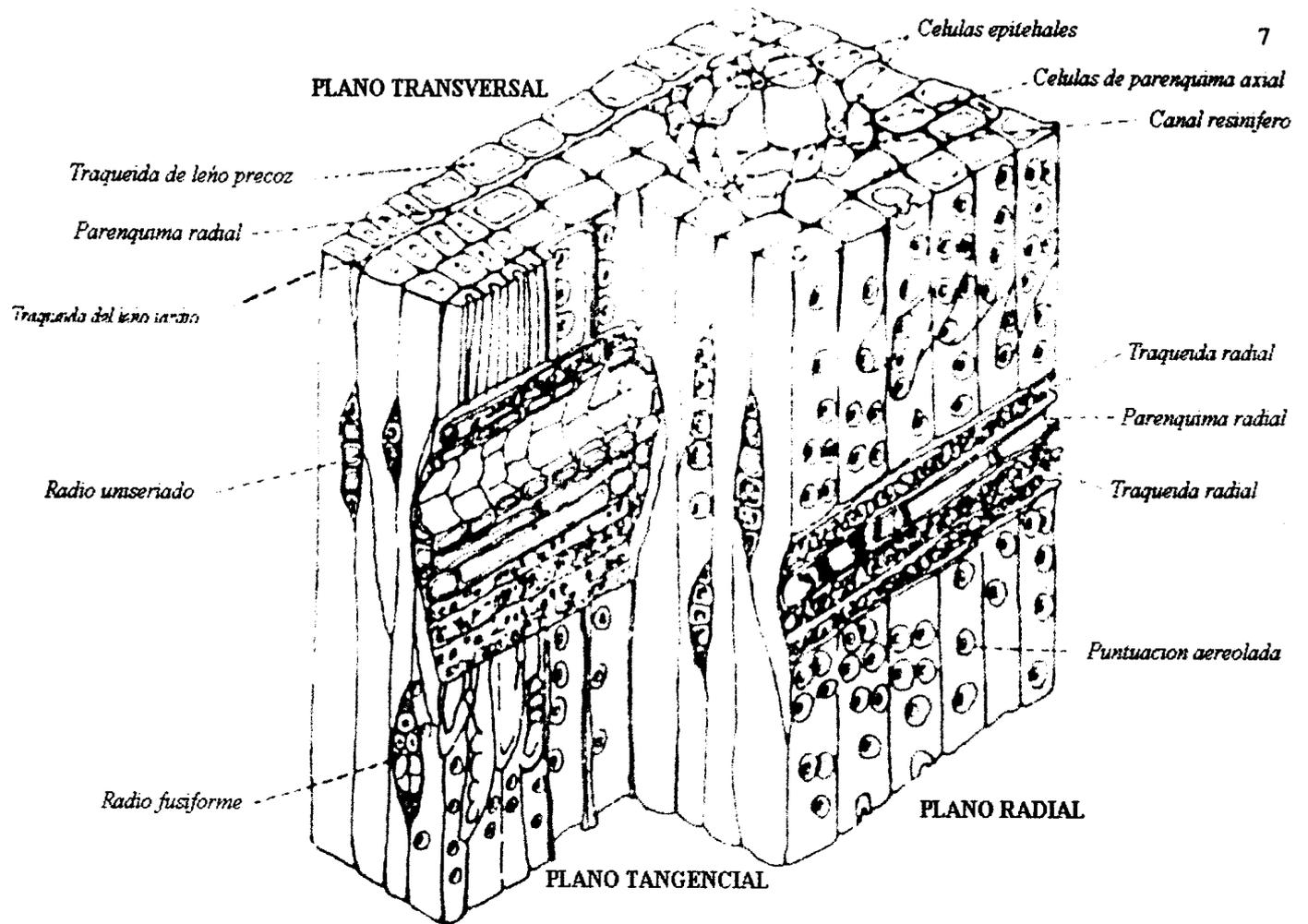


Figura 2. Diagrama del leño de una Pinophyta en los tres planos de observación. Fuente: SIAU, J. F. 1971 (18).

### 3.1.1.7. Traqueidas axiales

Las traqueidas axiales son a menudo muy largas. Extremadamente largas, como en el caso de *Araucaria angustifolia*, que alcanza los 10 cm. de largo. Mientras que las longitudes que van por debajo de 1 mm no son comunes; las medidas transversales varían en el rango de 15 a 80 micras. De aquí que las traqueidas axiales sean débiles estructuras, 100 o más veces, más largas que anchas. Vistas en sección radial, usualmente tienen extremos un tanto arredondados, mientras que en corte tangencial, los extremos aparecen más afilados. Transversalmente, las traqueidas tienen usualmente forma cuadrada o poligonal y el espesor de sus paredes varía considerablemente, en función de su posición en el anillo de crecimiento. Las Traqueidas del Leño temprano, son a menudo, relativamente grandes, de paredes delgadas y un tanto hexagonales en sus contornos; Aquellas de bandas radiales continuas tienden a alternarse. Hacia el fin del área de crecimiento, las traqueidas axiales se originan de las células iniciales fusiformes del cambium vascular y durante la diferenciación crecen considerablemente en diámetro radial, pero no en tangencial. Consecuentemente, mantienen su alineamiento con las células cambiales de las que se han derivado. Por esta razón, las traqueidas en maderas de coníferas, vistas en sección transversal, tienden a estar en un patrón regular de filas (19).

Cuadro 1. Composición volumétrica estimada de los constituyentes celulares de una conífera típica.  
Fuente: PANSHIN 1980 (15).

Traqueidas longitudinales.	93 %.
Canales resiníferos longitudinales.	1.0%
Radios leñosos.	6.0 %
Total.	100 %

### 3.1.1.8. Traqueidas radiales

Estas se desarrollan de las células iniciales radiales del cambium vascular. Están regularmente presentes en los radios de *Pinus*, *Picea*, *Larix*, *Pseudotsuga*, *Cedrus*, *Tsuga* y *Chamaecyparis*. Son encontradas en otros géneros como *Abies*, *Sequoia* y *Thuja*. Como traqueidas aisladas, las traqueidas radiales, se diferencian de las células parenquimáticas por sus puntuaciones areoladas, que pueden ocurrir en todas las paredes de las células. Diferentes a las traqueidas axiales, las traqueidas radiales tienen el eje de su mayor longitud, orientado en el plano radial de la madera y sus paredes tangenciales pueden estar algo oblicuamente localizadas.

Las traqueidas radiales a menudo forman las células superiores e inferiores del radio y podría presentarse más de una fila. Pueden algunas veces estar entremezcladas entre el parénquima radial o pueden constituir enteramente un radio, un rasgo algunas veces visto en los pinos, especialmente en madera juvenil. En "Yellow cedar" las traqueidas radiales y el parénquima radial, están comúnmente segregadas, un radio está constituido enteramente de uno o de otro tipo de célula (18).

Los radios, principales de las maderas del género *Pinus* y excepcionalmente del género *Cupressus*, presentan traqueidas radiales que ocurren comúnmente no solo a lo largo, sino también entre las células parénquimáticas radiales. Las traqueidas radiales presentan paredes secundarias lisas o denticuladas y puntuaciones aureoladas más pequeñas que las traqueidas axiales.

### 3.1.1.9. Puntuaciones

Las paredes secundarias de las traqueidas contienen interrupciones o lagunas a las que se les denomina puntuaciones. Las puntuaciones pueden ser simples y areoladas. Las puntuaciones ocurren en mayor número en las superficies radiales de las traqueidas y son más frecuentes en las extremidades sobrepuestas. Las traqueidas de leño inicial tienen las puntuaciones grandes y con aberturas internas circulares; mientras que las de leño tardío, son de menor tamaño, con aberturas internas ovaladas. Generalmente las puntuaciones ocurren en una sola fila; sin embargo, en las Taxodiáceos y Pináceos, pueden ocurrir dos o más filas en arreglos opuestos en algunas traqueidas del leño temprano.

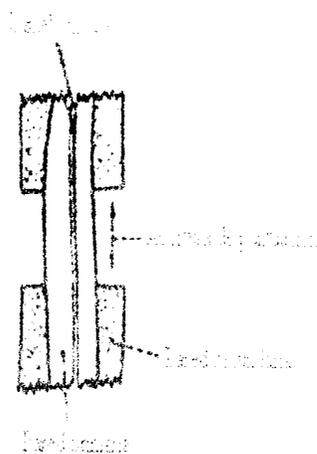


Figura 3. Diagrama de un par de puntuaciones simples  
Fuente: Esaú. K (6).

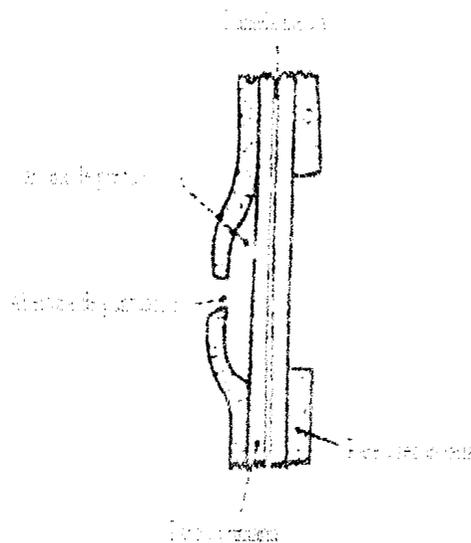


Figura 4. Diagrama de un par de puntuaciones semi-aureoladas  
Fuente: Esaú. K (6)

En *Araucaria angustifolia*, las puntuaciones ocurren en arreglo alterno. Normalmente dos puntuaciones correspondientes en traqueidas adyacentes forman un par de puntuaciones areoladas. Cuando ese par de puntuaciones es observado en vista frontal, tiene una forma externa circular del borde, y una abertura interna también circular, que es la abertura de la puntuación (6). El borde, que es formado por

la pared secundaria, recubre la cavidad de la puntuación. En el fondo de la cavidad, se localiza la puntuación compuesta por la lamela media y dos capas de pared secundaria. La parte espesada de la membrana de la puntuación, que se localiza en el centro, se le denomina **torus** (6). La parte de la membrana que envuelve el "torus" esta constituida de un retículo micro fibrilar al que se le denomina retículo de sustentación o "margo" (15).

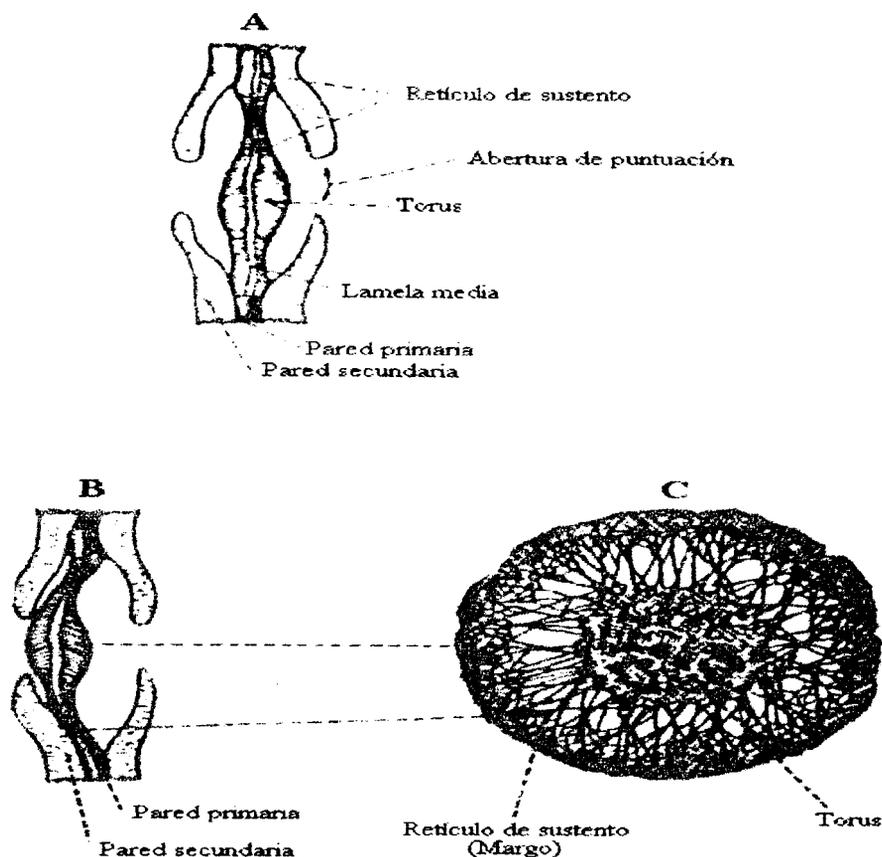


Figura. 5. Diagrama de una puntuación areolada. A. Puntuación areolada con torus en la posición normal; B. Puntuación areolada con torus aspirado (adherido a la pared celular, bloqueando el paso de líquido); C. vista frontal del torus mostrando el retículo de sustentación o "margo" (15).

Las paredes de las células del parénquima axial o radial están provistas de puntuaciones simples. Este tipo de puntuación no presenta areola. Cuando hay correspondencia entre dos puntuaciones simples, se forma un par de puntuaciones simple. Cuando el contacto ocurre entre una célula parénquimática y

una traqueida longitudinal, se forma un par de puntuaciones semi-aureolado, situándose la areola del lado de la traqueida. (Fig. 4)

El torus presente en la membrana de las puntuaciones en maderas de coníferas puede estar adherido a la abertura de la puntuación. En tal caso, se dice que esta aspirado. En esa situación puede obstruir completamente la abertura de la puntuación(18). Esa obstrucción, que puede ser causada por presiones oriundas de tensiones ejercidas por fluidos en las aberturas de la membrana, determina la permeabilidad de las maderas " de coníferas" (18).

### 3.1.1.10. Parénquima

Las maderas de coníferas pueden presentar tanto el parénquima longitudinal como el radial. Este último este presente invariablemente. El parénquima axial y radial puede rodear canales de resina. Phillips (1948) denomina parénquima abundante cuando "hay cinco o más células por milímetro cuadrado de sección transversal en aquella porción del anillo que contiene mas parénquima " (10).

#### a. parenquima longitudinal o axial

El parénquima longitudinal nunca es tan abundante en las coníferas, como lo es en las latí foliadas. En las maderas de las Pinophytas el parénquima longitudinal o axial, ocurre en las familias Taxodiácea, Cupresácea y Podocarpacea, mientras que en Araucariacea y Taxaceae, no ocurre ese tipo de parénquima (15).

Es usualmente encontrado aislado; se observan las células, las cuales son generalmente conspicuas debido a la coloración oscura de sus contenidos. El parénquima axial es raro en los pinos y otros miembros de la familia Pinacea, y esta ausente en Taxaceae, así como en Agathis y Araucaria. En Sequoia, Taxodium y Cupressaceae (genero Cupressus y Thuja), el parénquima axial es relativamente abundante. Las células están a menudo dispersas, pero pueden ocurrir en bandas concéntricas (arreglo zoneado), y en algunos miembros de las Pinaceas, estas pueden ocupar el otro margen del anillo de crecimiento. Las puntuaciones en las paredes de esta célula son, por supuesto, simples. Algunas veces las punteaduras le dan a la pared del extremo, una apariencia goteada (pared del extremo modular), y una similar apariencia puede ser observada al producir por el adelgazamiento de la pared primaria y no por una puntuación real (10).

En las maderas de coníferas que presentan canales resiníferos como la de los géneros Pinus, Larix y Pseudotsua, el parénquima axial se encuentra solamente circundado y cubriendo aquellos canales. Ese parénquima es denominado, parénquima epitelial longitudinal (15).

#### b. parenquima radial

Los radios en las maderas " de coníferas" son constituidos casi siempre por una sola hilera de células parénquima ticas de ancho (uniseriados); ocasionalmente, dos células de ancho (biseriados); y de una a veinticinco, raramente hasta cincuenta células de altura.

En las maderas que presentan canales resiníferos radiales (*Pinus*, *Larix*, *Picea* y *Pseudotsuga*), los radios son multiseriados en la parte central y son denominados fusiformes (6).

Los radios en las coníferas, usualmente son parenquimatosos. La morfología detallada de las células parénquimáticas radiales es variada, y la identificación del uso de la madera debe ser hecho a partir de aparentes detalles triviales como: la localización de las puntuaciones, el espesor de las paredes horizontales y terminales, la presencia o la ausencia de paredes terminales modulares, etc.

Hay una considerable variación de las puntuaciones que ocurren en las paredes radiales del parénquima radial, tales como: Puntuaciones que forman pares con las puntuaciones de las traqueidas longitudinales. Estas puntuaciones y sus arreglos, son de gran valor en la identificación de maderas "de coníferas". Para este propósito, no es el arreglo de las puntuaciones sobre la pared radial como un todo lo que interesa, sino su distribución en un campo de cruzamiento.

Un campo de cruzamiento es el área de contacto entre las paredes radiales de las traqueidas longitudinales y las paredes laterales de las células de parénquima radial (15). Es el área de una sección radial, limitada por la más alta y más baja pared horizontal de una célula de parénquima radial y las paredes de una traqueida axial. La forma, el tamaño, el número y el arreglo de las puntuaciones en los campos de cruce es bastante variable en las maderas de coníferas; Tienen fundamental importancia en la identificación de maderas. Es a las puntuaciones del leño temprano a las que se dirige la atención (10).

Phillips (1948), clasificó las puntuaciones en cinco tipos:

1. Fenestriforme: Puntuaciones grandes, simples o casi simples, con forma de ventana, las cuales ocupan la mayor parte del campo de cruzamiento. Esas puntuaciones son encontradas en *Dacrydium*, *Phyllocladus* y *Podocarpus spicatus* R. Br.
2. Pinoide: Regularmente pequeñas puntuaciones, simples, a lo sumo con una muy estrechamente areolada y variable en figura. Estas puntuaciones son encontradas en algunos pinos.
3. Piceoide; Pequeñas puntuaciones areoladas con una abertura angosta y a menudo un tanto extendidas. Puntuaciones de este tipo son encontradas en *Picea*, *Larix* y *Pseudotsuga*.
4. Cupresoide: Punteaduras pequeñas aureoladas o parcialmente areoladas con una abertura ancha, regularmente elíptica e incluida, pero que puede extenderse hasta el extremo a lo largo de su eje longitudinal. Ejemplos de género: *Cupressus*, *Taxus* y *Araucaria*.
5. Taxodiode: Pequeñas puntuaciones que superficialmente pueden parecerse a los tipos cupresoide o pinoide; aquí sin embargo, la abertura es más ancha que la aureola, es decir, las paredes se inclinan hacia fuera, hacia la abertura; no hacia adentro como en el tipo cupresoide. Punteaduras *Taxodiode* son encontradas en los géneros *Taxodiun*, *Sequoia*, *Cedrus* y *Thuja*.

### 3.1.1.10. Canales resiníferos

Son definidos como espacios intercelulares con forma tubular. Tanto interna como externamente están revestidas por una o más capas de células parénquimáticas que en su conjunto reciben la denominación de epitelio o parénquima epitelial o resinífero. Esos canales pueden ser verticales y horizontales. Los verticales pueden ser normales o traumáticos. Estos últimos pueden surgir por cualquier traumatismo que sufra el árbol (6).

Los canales normales ocurren de manera difusa en las capas de crecimiento con una ligera tendencia a una mayor concentración en el leño tardío. Los de origen traumático se presentan siempre juntos formando series tangenciales, generalmente en el leño tardío. El parénquima epitelial, está relacionado con la producción de resina. El término resina es usado aquí para denominar a toda sustancia oscura, gomosa o resinosa, encontrada en las maderas de coníferas sin tener en cuenta su naturaleza química. La resina ocurre en la mayoría de las maderas de coníferas en células, en cavidades especiales. Pueden ocurrir también como resultado de daño al árbol. Resina intracelular puede ser encontrada en las traqueidas axiales; sin embargo, no ocurre en traqueidas radiales. Es comúnmente encontrada en células parenquimáticas en las cuales, sería de esperarse, ya que la resina puede ser producida por células vivas y las células parenquimáticas son las únicas vivas de la madera. Ello no necesariamente significa que la resina es enteramente producida por las células parenquimáticas. Es concebible que la resina o alguno de sus precursores, podría ser producida en otra parte y solamente depositada en el interior de las células parenquimáticas de la madera (6).

La resina que ocurre en las traqueidas axiales en maderas de varias coníferas, puede aparecer como protuberancias en las paredes, aunque a menudo, ocurren como discos bicóncavos transversales, conocidos como placas de resina. Estas placas desde un examen superficial, pueden ser confundidas con paredes terminales, o en una sección radial con trabeculas. Una sección transversal que corte una de estas placas de resina, puede por supuesto, pasar a través de su plano medio, cerca del límite superior o inferior, en el anterior, la traqueida aparece en la sección llena de resina; en el otro caso, el lumen lucirá teniendo un forro resinoso. Las traqueidas que contiene resina son distinguidas con el nombre de traqueidas resinosas. Esas traqueidas son encontradas en los géneros: *Agathis* y *Araucaria*, en la vecindad de los rayos.

Las células de parénquima radial en las maderas "de coníferas", a menudo contienen resina de coloración oscura que puede ocurrir en discretas masas en las paredes o alternativamente, forrar el lumen de la célula. La resina es también encontrada comúnmente en las células parenquimáticas axiales las cuales con su oscuro contenido, son prominentes rasgos distintivos de algunas coníferas tales como la sequía. Por esta razón las células parenquimáticas axiales son a menudo denominadas células resiníferas. Es importante anotar, sin embargo, que las células de parénquima axial, no siempre contienen resina.

La resina intercelular ocurre como un rasgo normal de la madera, en especial en los conductos esquizógenos, conocidos como canales o ductos resiníferos, los cuales corren axialmente entre las traqueidas axiales y radiales. En los radios, los canales resiníferos son encontrados en cuatro importantes géneros comerciales: *Pinus*, *Pseudotsuga*, *Picea* y *Larix*. Tales géneros, tienen canales resiníferos axiales y radiales.

Vistos en sección transversal los canales resiníferos axiales son mas o menos de forma circular y usualmente ocurren solitarios, aunque en el "Douglas fir", son raramente encontradas en pares. Los canales resiníferos radiales, son mas o menos circulares, en sección radial, en pinos; ovaladas en el "Spruce" y grandes, y o redondeados o algo angular en "Douglas fir". Las células epiteliales que forran los canales permanecen de paredes delgadas en pinos y son a menudo no distinguibles en la sección, ya sea debido a daño en el corte, o a su colapso. Los canales resiníferos pueden llegar a ser llenados por estructuras en forma de tiloides, las cuales por ocurrir en un canal (esto es, en un espacio intercelular y no en un vaso), son conocidas como tiloides (6).

### 3.1.2. Madera juvenil

La madera juvenil se forma cerca de la médula del árbol. El número de anillos en que se forma la madera juvenil varia, en *P. Ponderosa* se forma a partir del anillo No.20, mientras que en el *P. Taeda* se forma desde el anillo No. 10 y en el No. 5 0 6 en *P. caribea*. La edad real del árbol no es importante, pero el número de anillos desde el centro o medula del árbol determina si se formara la madera juvenil. La formación de madera juvenil y madura aparentemente esta relacionada con la madurez de las células del cambium afectadas por el balance hormonal, y se forma cerca de la copa del árbol sin importar cuan maduro sea este. En algunas especies, la transición de la madera juvenil a la madura puede ser bastante pronunciada mientras en otras es mucho más gradual (21).

El peso específico de la madera juvenil es menor que el de la madera madura. Esta característica se debe principalmente a las paredes celulares delgadas y a la poca abundancia relativa de las células del tipo de la madera de verano. Las traqueidas de la madera juvenil son cortas. La longitud de las traqueidas es menor cerca del centro del árbol y aumenta rápidamente hacia la madera madura, donde se estabiliza hasta cierto grado (21).

La madera juvenil es inestable cuando se seca ya que se contrae longitudinalmente mucho más que la madera madura. Dicha inestabilidad es el resultado de los ángulos fibrilares relativamente llanos y causa graves problemas durante el proceso de secado. Debido a su bajo peso específico y paredes celulares delgadas, La madera juvenil es débil cuando se utiliza como producto sólido de madera (21).

### 3.1.3. Madera de reacción

La forma más fácil de mejorar la calidad de la madera es desarrollar árboles más rectos que tengan también ramas mas cortas, las cuales crezcan formando ángulos rectos con el tronco del árbol. El principal resultado de estas mejoras es la reducción del porcentaje de madera de reacción que acompaña a los árboles que no crecen verticalmente y que presentan ramas grandes o dispuestas en ángulos agudos (21).

Cada vez que un árbol se inclina, se forma un tipo de madera distinta de la normal, cuya función es ayudar a enderezar el árbol. Esta madera se denomina colectivamente **madera de reacción**. Cuando una conífera se inclina se forma un tipo de madera de reacción llamada **madera de compresión** (21).

La madera, que se desarrolla en la parte baja del tronco de un árbol inclinado, muestra contracción longitudinal anormal al secarse, traqueidas cortas, "Fisuras" en las paredes celulares engrosadas y un contenido de lignina superior al normal. En las latifolidas, la madera de tensión se forma en la parte superior de un árbol inclinado. Las maderas de reacción y de tensión nunca ocurren en el mismo árbol el primer tipo se encuentra solo en las coníferas y el segundo en las latifoliarias. Debido a sus efectos importantes sobre las características morfológicas y químicas de la madera producida, la madera de reacción es de gran importancia al fabricar productos sólidos de madera, como fuente de energía o de compuestos químicos y la utilización de las fibras de la madera (21).

### 3.1.4. Cortes de la madera

Para el estudio anatómico de la madera es necesario seccionar la misma, de tal manera que pueda identificarse todo los ángulos estructurales, para lo cual el corte se realiza de la siguiente manera (18).

- Corte Transversal: se realiza perpendicular al eje del árbol y en los vasos o poros en latifoliadas y las traqueidas en las coníferas están cortadas transversalmente y se observan como pequeños orificios, y los radios leñosos como líneas que las atraviesan.
- Corte Longitudinal Tangencial: Bloque que muestra los elementos axiales corriendo en una misma dirección, corta transversalmente el parénquima radial.
- Corte Longitudinal Radial: Es el que se realiza paralelo a los radios de la circunferencia que forma el tronco del árbol. Este corte es el efectuado en un plano determinado por el eje del tronco y un diámetro del mismo

### 3.1.5. Propiedades físicas de la madera

#### 3.1.5.1. Densidad básica

La Densidad Básica se define como la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde de la madera. Este concepto no debe confundirse con el denominado peso específico que suele emplearse como sinónimo, este es la relación entre el peso seco de la madera y el peso de un volumen igual de agua (3).

La densidad de la madera es una consecuencia de la combinación de características tales como el diámetro celular el espesor de la pared celular y el porcentaje de leño tardío (17).

Este parámetro puede ayudar en la selección y clasificación de la madera para determinado uso industrial, a la vez permite conocer aproximadamente su resistencia mecánica, habilidad para sostener clavos, rendimiento de pulpa y facilidad de trabajo en la maquinas. La densidad de la madera es una resultante de las variaciones que en ella se presentan, esta puede constituir, desde el punto de vista mecánico, una base de apreciación de las calidades de la madera (3).

En cuanto a la densidad básica entre especies se conoce una variabilidad que va desde  $0.04\text{gr/cm}^3$  (Madera de balsa) a  $1.4\text{ gr/cm}^3$  (Guayacán). También se sabe que dentro de una especie la variabilidad se debe a factores genéticos y ambientales, y que dentro de un individuo la variabilidad existe en altura y en el sentido radial del tronco (13).

Goggans (1962), menciona que la densidad en el fuste del árbol generalmente aumenta de la medula hacia la periferia y disminuye de la base hacia la parte superior (21). También, la densidad es altamente dependiente de la edad del árbol; en un estudio en sitios similares, la densidad de la madera aumenta en un 29% entre árboles de 12 y 52 años de edad. Otro estudio demostró que la densidad básica de pino radiata se incrementa desde 0.385 en el anillo numero 10 a  $0.526\text{ gr/cm}^3$  en el anillo numero 40 (17).

Sepúlveda y Melo (10). en un estudio de propiedades físicas de la madera de pino radiata de 52 años; reportan que sus resultados muestran un aumento de la densidad en un periodo desde 0 a 20 anillos. La mayor variación intra incrementa, de la medula a corteza, se observa en los árboles dominantes, con

un 21%. A la vez concluyeron que la densidad crece continuamente con el aumento de anillos, en forma pronunciada durante los primeros 20 años y más suave después.

### 3.1.5.2. Contracción

Se define como la variación dimensional que experimenta la madera bajo el punto de saturación de la fibra. La contracción depende de la orientación de la fibra de la madera. Los factores que influyen en la contracción son; densidad, dirección de la fibra, presencia de extraíbles, composición química y ángulo fibrilar (21).

El fenómeno de la contracción es originado por la pérdida de agua ligada en la zona amorfa de la celulosa. No sucede lo mismo en la zona cristalina la cual impide que exista contracción en el sentido longitudinal (20).

Los valores de contracción son un índice de la estabilidad dimensional que puede tener la madera al ser sometida a condiciones variables de humedad. Debido a las variaciones ambientales de humedad relativa y temperatura, la madera está sujeta a estos cambios dimensionales, además, estos cambios son diferentes según las secciones de la madera, por lo que en la parte interna se originan tensiones que causan defectos durante el secado, tales como grietas y deformaciones (3).

La relación contracción tangencial y radial, es un índice de la estabilidad dimensional de la madera, al acercarse a 1 la madera es más estable y tiene buen comportamiento durante el secado. Si los cambios dimensionales son proporcionales a los contenidos de humedad de la pared celular, se puede decir que las maderas con mayor densidad contienen más agua higroscópica que las maderas con menor densidad (3).

La contracción lineal según la dirección de medida puede ser axial, radial o tangencial. La contracción axial es muy débil prácticamente insignificante. La variación superficial de la sección transversal prácticamente es igual en número a la contracción volumétrica y se expresa como un porcentaje de la relación entre la disminución dimensional y la dimensión al estado anhidrido. La contracción tangencial es en términos medios dos veces más fuerte que la contracción radial (4).

### 3.1.5.3. Longitud de traqueida

Las traqueidas son células más o menos alargadas con membrana secundaria lignificada y exentas de protoplasto. Son células imperforadas provistas de paredes de puntuaciones. Los elementos traqueales presentan puntuaciones (7).

La longitud de traqueidas es un factor importante en la calidad de la madera usada para pulpa. McMillin (1969) estudió la madera de Pinus taeda y encontró que las traqueidas más largas introducían mejoras en las propiedades del Papel (21).

La función de las traqueidas es la de conducción del agua. En las coníferas esta ruta se encuentra a lo largo de la dirección axial de las traqueidas del xilema (es decir, en la dirección del grano, Daniel T.,

Helms J. 1982). En las coníferas el agua se mueve de una traqueida, que mide de 0.5 a 3.0 mm. de longitud, a otra pasando a través de miles de paredes transversales que tienen enormes cantidades de puntuaciones areoladas en las paredes radiales.

#### **3.1.5.4. Patrones de variación de la madera**

Si se desea manipular la calidad y rendimiento de la madera, es fundamental conocer bien la variabilidad de esta. Aparte de las bien conocidas y reconocidas diferencia existente entre las especies, la variabilidad de la madera ocurre también de la manera siguiente: (1) dentro de un determinado árbol; (2) entre los árboles de una misma especie; (3) en ocasiones, entre las poblaciones de una especie que crecen en una sola localidad, y (4) con frecuencia, entre las poblaciones de una especie que crecen en diferentes áreas geográficas.

La madera puede variar ampliamente dentro de un árbol, desde la medula hacia el exterior o de la base del tronco hacia arriba. También se ha reconocido la semejanza que existe entre la madera de la copa de árboles maduros y la madera cerca del centro del árbol en su base. La variación asociada con la altura del árbol, en lo que respecta a las propiedades de la madera en pinos, quizás se aprecia mejor si se considera que un corazón de madera juvenil con traqueidas cortas y densidad baja existe en forma de cilindro interno en el centro del fuste del árbol. Este cilindro se extiende desde la base del tronco hasta la copa del árbol. El resultado es que las trozas de la copa constan principalmente de madera juvenil, mientras que las trozas de la base del mismo árbol poseen mas madera madura con una mayor densidad. En todas las características de la madera que se han estudiado, se ha encontrado siempre que la variación entre los árboles de la misma edad que crecen en el mismo sitio es grande. Ejemplo; sin importar la localidad si 50 pinos "loblolly" de la misma edad, la misma clase de copa y creciendo en el mismo sitio se muestrean a la altura del pecho, la diferencia de densidad la madera madura entre los árboles de mayor y menor densidad será casi de 0.20 (21).

### **3. 2. Marco referencial**

#### **3.2.1. Información general de la finca**

##### **3.2.1.1. Ubicación Geográfica**

La finca Semúc -6 se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas 89°36` 5` - 89°32` 54` de longitud oeste y 15°33` 72` - 15°3` 11` de latitud norte, la cual se encuentra ubicada dentro del Municipio de El Estor, departamento de Izabal (9).

##### **3.2.1.2. Vías de Acceso**

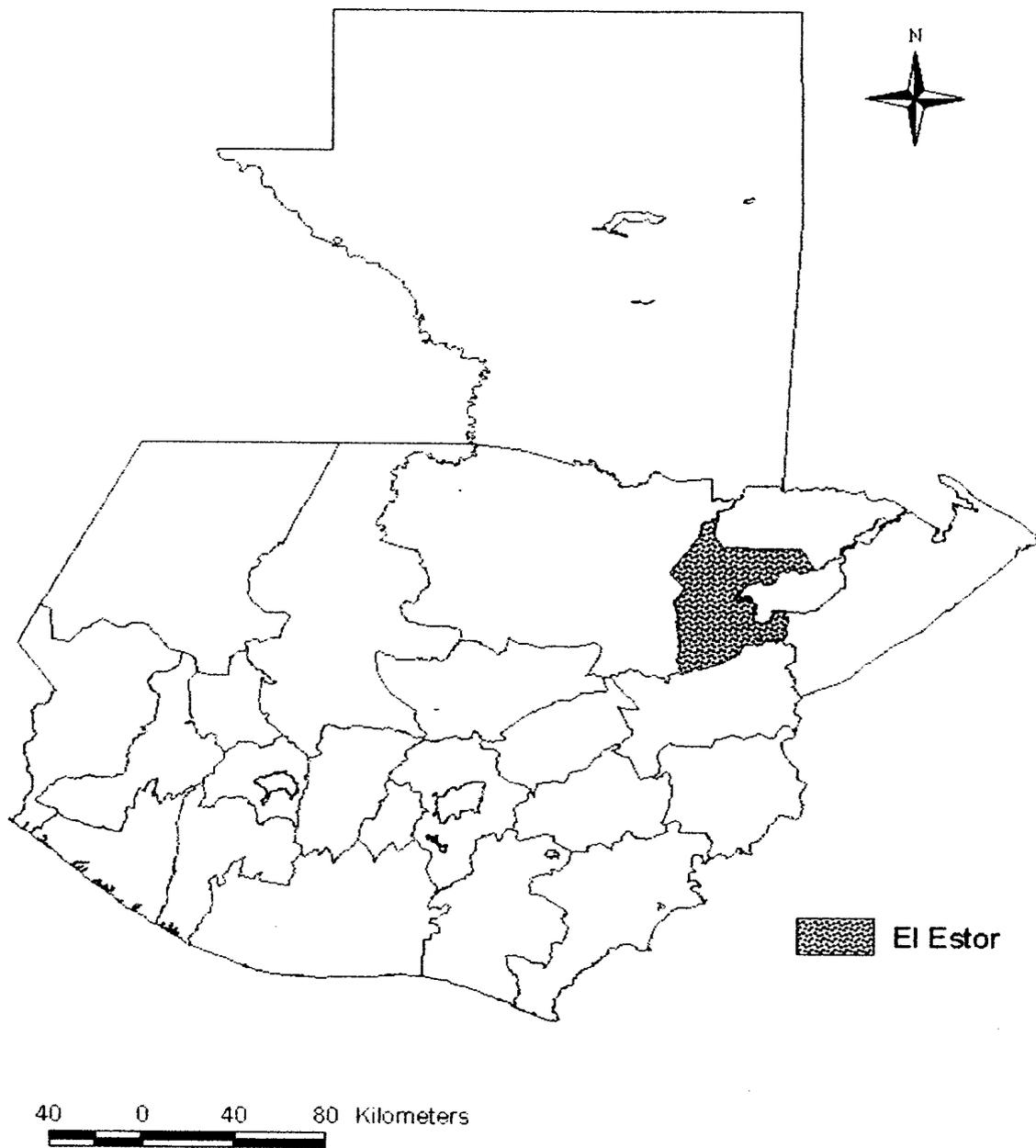
Existen dos rutas para llegar a la finca Semúc -6:

Cuadro 2. Distancia en Km de la ruta Guatemala a finca Semúc -6 vía San Julián

DE	A	Km	Carretera
Guatemala	San Julián	182	Asfaltada
San Julián	Cruce Chulac	90	Terracería
Cruce Chulac	Aldea Searranx	29	Terracería
Aldea Searranx	Finca Semúc -6	7	Balastrada
Recorrido Total		308	

Cuadro 3. Distancia en Km. de la ruta Guatemala a finca Semúc -6 vía Río Dulce, Izabal.

DE	A	Km	Carretera
Guatemala	Río Dulce	276	Asfaltada
Río Dulce	El Estor	43	Terracería
El Estor	Cruce Chulác	40	Terracería
Cruce Chulác	Aldea Searranx	29	Terracería
Aldea Searranx	Finca Semúc -6	7	Balastrada
Recorrido Total		395	



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía  
Unidad de Sistemas de Información Geográfica  
Hecho por: Francisco E. Moscoso

Figura 6. Localización Geográfica de la finca Semuc-6 y Anexos.  
Fuente: IGN (9).

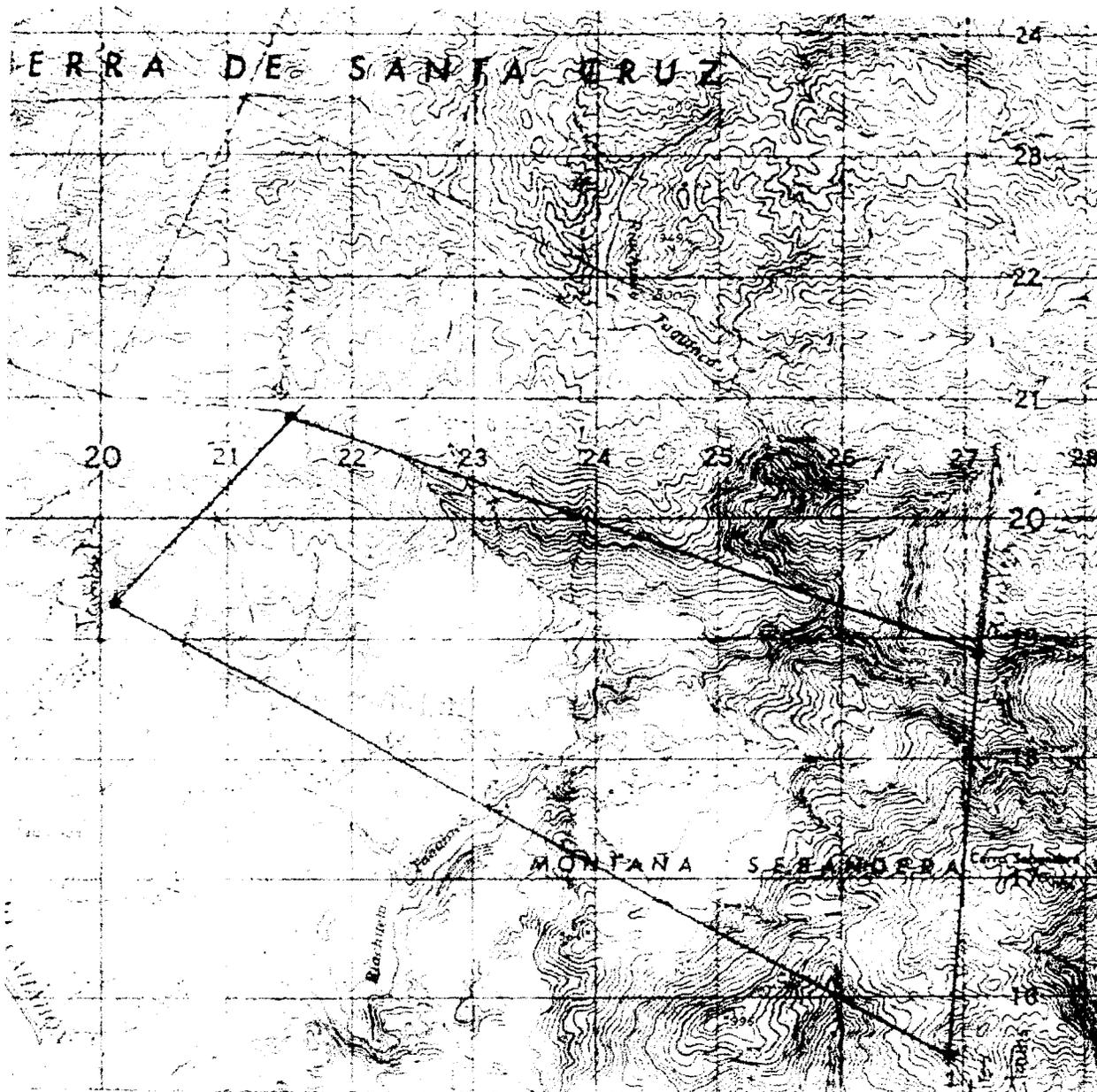


Figura 7. Mapa cartográfico Finca Semuc-6.  
Hoja cartográfica Chimoxán escala 1:50,000.  
Fuente: IGN (1970) (9).

### 3.2.1.3 Características biofísicas

#### a. Relieve

La finca tiene una diferencia latitudinal de 400 m encontrándose a una altitud desde los 500 a 900 msnm con una pendiente entre el 20 al 40 % hacia el sur y un relieve de ondulado a quebrado.

#### b. Clima

La precipitación anual es de 4,000 a 4,500 mm, sin estación seca bien definida. La temperatura media anual es de 25 grados centígrados (8).

#### c. Geología

Los suelos del área están desarrollados sobre rocas ultra básicas de edad desconocida, mayormente serpentinita y rocas asociadas a elevaciones medias (9).

#### d. Suelos

La finca tiene suelos Sebach, los cuales son poco profundos, bien drenados, desarrollados sobre serpentinita en un clima cálido y húmedo, tienen un alto contenido de materia orgánica, plástico cuando húmedo y duro cuando seco, con estructura granular y un pH ligeramente ácido 6.1-6.5, están asociados a los suelos Tamahu, Guacapa y Semúc (19).

#### e. Hidrología

El río principal es el Semúc además se encuentran seis ríos pequeños y varios riachuelos, además de varios nacimientos de agua que se mantienen en épocas secas.

#### f. Zona de Vida

La zona de vida es Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido), las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos. El régimen de lluvias es de mayor duración, por lo que influye grandemente en la composición florística y en la fisonomía de la vegetación (5).

### 3.2.2. Antecedentes del proyecto de reforestación Disloque

En el año de 1991, un grupo de empresarios guatemaltecos decidió participar en la reforestación del país utilizando el programa de incentivos fiscales para la actividad; con base legal en el artículo 83 del Decreto número 70-89 (Ley Forestal) vigente en ese entonces. En tal concepto, se firmaron acuerdos y contratos con la empresa reforestadora, para ejecutar un proyecto de reforestación, cuya extensión es de seis hectáreas, utilizando para el efecto la especie forestal Pino Caribe (*Pinus caribea*) y Teca (*Tectona grandis*), en el inmueble conocido como Fina Semuc-6, ubicada en jurisdicción del Municipio de El Estor, Departamento de Izabal.

### 3.2.3. Distribución natural de *Pinus caribaea*

El rango geográfico de la distribución natural de la especie en el mundo abarca, desde los 27° 25' hasta la 12°13' latitud norte y desde los 71°40' hasta la 89°20' longitud oeste (2).

El *Pinus caribea* esta distribuido desde el nivel del mar hasta una altitud promedio de 800 msnm a partir de la cual es sustituido por *Pinus oocarpa*. Estos rangos cubren cuatro grandes islas de la Bahamas, tres pequeñas islas del grupo Caicos, parte de la provincia occidental de Pinar del Río al noreste de la isla Los Pinos en Cuba, parte de las cordilleras y llanuras costeras de Belice, localidades

aisladas en el oeste de Guatemala a lo largo de la costa atlántica, valles elevados y en la isla de Guanaja en Honduras y las costas atlánticas de Nicaragua. De acuerdo a las incidencias de los huracanes, fuegos o interferencias humanas, en ningún sitio esta sujeto a heladas, pero las condiciones de suelo pueden ser adversas en determinados casos.

Las tres variedades de *Pinus caribea*, ahora clasificadas botánicamente con el nombre específico de *Pinus caribea* Morelet, se encuentran distribuidas en tres regiones: Al norte se extiende la especie *Pinus caribea* var. *bahamensis*, en las Bahamas y las islas Caicos. Más al sur, en Cuba y en la isla de Los Pinos se encuentra distribuida la especie *Pinus caribea* var. *caribea*, cuyos rodales no son continuos. En las tierras continentales, los rodales más extensos pertenecen a La distribución no esta definida por el tipo de suelo o el clima y compite con los árboles latifoliados *Pinus caribea* var. *Hondurensis*, distribuido en una faja angosta en las costas del atlántico desde Nicaragua en el sur hasta Belice en el Norte (2).

En Guatemala (figura 1) *Pinus caribea* ocurre a lo largo del pie de monte de la Sierra de las Minas en el valle del Motagua. Los pinos no alcanzan la costa pero llegan a 50 Km. de distancia. Al irse incrementando la altura en las montañas del lado oeste del valle es reemplazado por *Pinus oocarpa*. Las dos especies se encuentran juntas a 450 y 750 msnm. Los bosques han sido destruidos fuertemente y los pocos rodales que quedan son dispersos y defectuosos. En Poptún en el departamento de El Petén existe uno de los rodales internos más conocidos de *Pinus caribea* var. *Hondurensis* y juntamente con los Mountain Pine Ridge son los más importantes como proveedores de semilla. El ramal suroeste de las montañas Mayas se extienden en Guatemala penetrando unos 30 Km. a 500 msnm al noroeste de Poptún. Los rodales de pino están separados de Mountain Pine Ridge de Belice por 60 Km. de bosque de hoja ancha (2).



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Agronomía  
Unidad de Sistemas de Información Geográfica  
Hecho por: Francisco E. Moscoso

Figura 8. Mapa de distribución natural de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en Guatemala.  
Fuente: Aguilar Ponciano & Dary. 1988 (2).

## 4. OBJETIVOS

### 4.1. Generales

- ⊗ Establecer las características anatómicas y determinar la variación de las propiedades físicas seleccionadas en función de la altura del fuste y distancia de la médula en árboles que se encuentran en la etapa fustal joven de Pino caribea var. Hondurensis, obtenido de una plantación establecida en el municipio de El Estor, departamento de Izabal.

### 4.2. Específicos

- ⊗ Establecer la estructura anatómica interna del Pinus caribe.
- ⊗ Determinar la variación de la densidad.
- ⊗ Determinar la variación de la contracción.
- ⊗ Determinar la variación de la longitud de fibra.

## 5. METODOLOGIA

De acuerdo a la norma, ASTM (1) las etapas a seguir para la selección y toma de muestras para ensayo en estudio físico-mecánico, son 5, las cuales son:

1. Recolección de muestras.
2. Transporte del material al laboratorio.
3. Corte y preparación de la probeta.
4. Realización de los ensayos.
5. Análisis estadístico y evaluación de resultados.

### 5.1. Localización del área de recolección de las muestras

El material estudiado se recolectó del proyecto de reforestación El Disloque/ Finca Semuc-6, la cual se encuentra en jurisdicción de municipio de El Estor, departamento de Izabal.

La finca Semuc-6 se encuentra localizada entre las coordenadas geográficas 89°32'72" - 89°32'54" de longitud Oeste y 15°33'72" - 15°30'11" de latitud Norte, ubicada dentro del municipio de El Estor Departamento de Izabal.

El área donde se localiza la finca pertenece al Bosque Muy Húmedo Subtropical (cálido), las condiciones climáticas son variables por la influencia de los vientos, el régimen de lluvias es de mayor duración, por lo que influye grandemente en la composición florística y en la fisonomía vegetal (5).

La precipitación anual es de 4,000-4,500 mm. , sin estaciones secas bien definidas. La temperatura media anual es de 25 ° C. La diferencia de altitudinal es de 400m. Encontrándose a una altitud desde 500 a 900 msnm, con un relieve de ondulado a quebrado (5).

## 5.2. Recolección de muestras

De acuerdo a las normas ASTM 143-83 (1) y la recomendación de Noack, citado por Morataya M. 1993 (12) para fines prácticos de un estudio de orientación sobre las propiedades tecnológicas, es suficiente tener 5 árboles por especie, seleccionados al azar.

En las plantaciones de pino caribe, de proyecto Disloque, se seleccionó un árbol al azar en la parte media del proyecto de reforestación El Disloque, de este lugar se tomaron el primer árbol que se encuentre entre el estrato social dominante-codominante, luego se camina 20 mts. en cada punto cardinal, (norte, sur, este, oeste) y el primer árbol que se encontraba entre el rango anteriormente mencionado, se seleccionaba de manera de tener cinco árboles al finalizar esta fase. El movimiento se realizara partiendo del centro al norte, luego al este, sur y final mente al oeste. Fig. 9

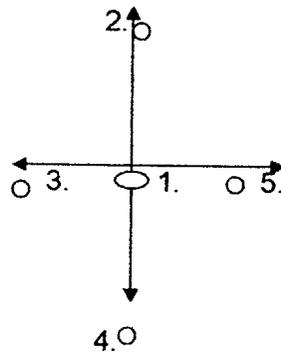


Figura 9. Orientación de puntos de obtención de muestras.

### 5.2.1. Selección del sitio

El sitio para punto de partida de toma de muestras fue tomado al azar. Todos los árboles deben presentar características de no estar bifurcados, con plagas, con daños mecánicos o secos (4) (13) (18).

### 5.2.2. Selección y número de secciones

Ya seleccionados los árboles y cortados se midió la altura total del árbol y se marcó cada 1.20 m. Tomando como base los primeros 30 cm a partir del suelo. Posteriormente se cortaran rodelas de 0.04 mts (40 mm) de espesor. Así mismo se cortaron rodelas de 0.10 mts (100mm) en el tocón, 2.70m, 6.30m y a 11.1 m. de las cuales se extrajeron las probetas para la estimación de contracción de la madera.

### 5.3. Transporte del material al laboratorio

#### 5.3.1. Designación de árbol

A cada árbol se le designó un número arábigo consecutivo iniciando del número 1, hasta 5.

#### 5.3.2. Designación de las secciones (rodela)

Las rodela de cada árbol fueron designadas por letras minúsculas y empezó con las secciones inmediatas al tocón, además se marcó el lado norte de cada sección en función del radio más largo.

#### 5.3.3. Preparación del traslado

Cada una de las rodela obtenidas se les dejó la corteza; Se colocaron en sacos con aserrín húmedo, cada uno del saco se colocaron las muestras tomadas de un árbol, para así al final tener 5 sacos para su traslado. Mas 5 sacos con las muestras para realizar el estudio de contracción y longitud de fibra.

#### 5.3.4. Almacenamiento

Las rodela se mantuvieron en un lugar húmedo alejado de polvo, sol y calor artificial, así mismo se colocó aserrín húmedo entre cada rodela para poder mantener la humedad de las mismas. Dicho aserrín era cambiado periódicamente con la finalidad de evitar la contaminación de las muestras (hongos o bacterias). Luego de ser aserrado se obtuvo las aristas las cuales se procedió a realizar las mediciones pertinentes manejando la humedad con aserrín al igual que se hizo con las rodela. Luego de realizados los análisis se pusieron al sol para poder secar completamente.

### 5.4. Corte y preparación de las probetas

#### 5.4.1. Marcador de probetas (factor b)

Todas las rodela fueron marcadas en el extremo superior en secciones de (25.4 x 25.4 mm.) Siguiendo la línea de norte a sur pasando por la medula como se muestra en la Fig. 10 y 11.

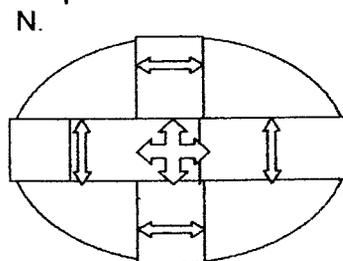


Figura 10. Diagrama de las rodela obtenidas

Todas las barretas del ensayo llevan el número de árbol, número de barreta ubicación en punto según el punto cardinal, y designación de rodela.

Ejemplo:

1-Sd3.

1: número de árbol.

2: ubicación según punto cardinal.

d: asignación según orden de rodela.

3: número de barreta.

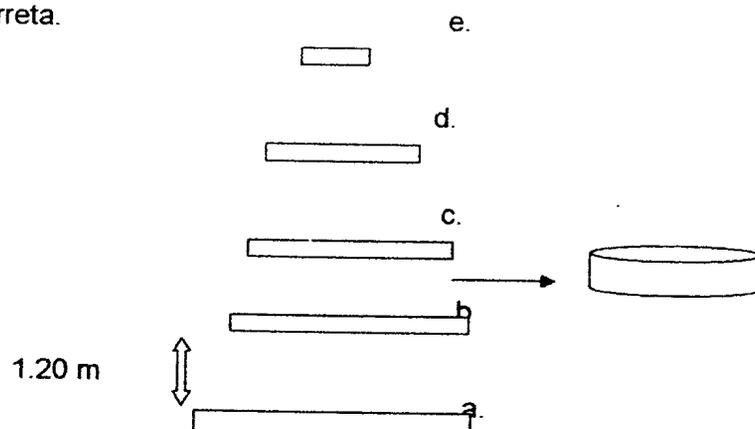


Figura. 11. Diagrama ejemplo de rodela obtenidas

#### 5.4.1.1. Claves

- NUMERO DE ÁRBOLES:  
1-3-4-5.
- UBICACIÓN SEGÚN PUNTOS CARDENALES.  
N-S-E-O
- ASIGNACION SEGÚN RODELA.  
a-b-c-d-e...
- NUMERO DE BARETA.  
1-2-3-4-5...

Rodela: a. Norte.

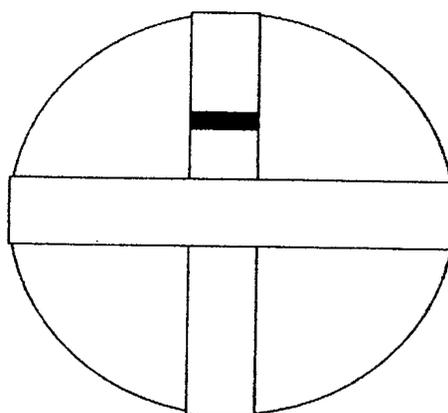


Figura 12. Orientación de Rodela.

NUMERO DE ARBOL: 1

CLAVE: 1-Na1.

Árbol numero: 1/ Guiado al: norte / Rodela: a / barreta: 1.

## 5.5. Realización de los ensayos

La preparación de las probetas, requirió de mucha precisión en los ensayos de propiedades físicas de la madera, pues tanto la inadecuada orientación de los anillos de crecimiento como la dirección de las fibras con relación a los ejes de la pieza, conducen a la obtención de resultados incorrectos.

Las probetas para los ensayos de propiedades físicas se elaboran siempre en forma que dos de sus lados opuestos tuvieren cara tangencial paralela a los anillos de crecimiento y los otros dos, cara radial (3).

Las probetas se realizaron de forma cúbica de 0.025 m (25.4 mm.) de arista para los ensayos de densidad, contenido de humedad y anatomía, y de 0.025 x 0.025 x 0.1 m (25.4x25.4 x100 mm.) para ensayos de contracción.

### 5.5.1 Estudio de características anatómicas

Para la realización de esta fase del estudio se hace necesario la observación microscópica de estas estructuras, para ello se elaboraron cortes en los tres planos; radial, tangencial y transversal. Para facilitar dichos cortes, el material es previamente ablandado mediante remojo hasta que se notara turgencia del bloque.

Seguidos de los tratamientos que son requeridos para lograr ablandar la madera para que su manipulación sea más fácil. Se realizaron cortes en un micrótopo manual de deslizamiento horizontal de cuchilla móvil desmontable, para dicha fase se procedió de la siguiente manera.

1. La cuchilla de del micrótopo se remojó en una solución de 1:1 de glicerina y etanol absoluto, evitando así que los cortes de madera se enrollaran, elaborado cortes del mismo entre 3 y 5 grados de inclinación de la cuchilla y un grosor de corte entre 10 a 20 micras.
2. Mediante la utilización de un pincel se colocaran los cortes obtenidos con el micrótopo en una solución de etanol absoluto. Para extraer la glicerina, esto se realiza durante un periodo de 5 min.
3. Luego se colocaron los cortes en un recipiente con agua destilada estos con el fin de hidratar los cortes, por 3 minutos. Este paso se realizó dos veces en recipientes distintos.
4. Los cortes fueron teñidos dejándolos reposar en safranina acuosa al 1% durante 3 min. Aproximadamente.
5. Luego de teñidos se colocaron en una cadena de deshidratación utilizando etanol en soluciones ascendentes al 30%, 50%, 70%, 95%, y 100%, se dejan un periodo de 7 min. en cada escala.
6. Seguidamente se trasladaron los cortes a un papel absorbente para eliminar el exceso de alcohol y así evitar una entrada brusca en el xilol.
7. Los cortes se depositaron en xilol hasta la realización de los montajes.
8. Con un pincel se extrajo el corte de interés, y se colocó en un portaobjetos, sin dejar que el xilol se evapore, seguidamente se le agregó 2 gotas, en el medio, para, luego sobreponer un cubreobjetos suavemente, evitando que se produjeran burbujas de aire.
9. Con un pincel con xilol se extrajo el exceso del medio del montaje que sobresale del cubreobjeto.
10. Se identificó plenamente cada montaje
11. Mediante la utilización de un microscopio se procedió a realizar lecturas respectivas de cada corte. Se tomaron fotografías de los mismo para poder dejar plasmada la imagen que se logró observar.

## 5.5.2. Características físicas

### 5.5.2.1. Densidad de la madera (astm d 143 -83)

Se entiende como densidad de la madera al coeficiente de dividir el peso de la probeta entre el volumen de la misma probeta (22).

➤ **Densidad básica:** peso seco en horno/ volumen verde;  $\text{gr}/\text{cm}^3$

Para la determinación de la densidad básica de la madera se obtuvo primero el peso seco y el volumen verde de las probetas con un contenido de humedad superior al 30%. Para la determinación del peso seco se colocaron las probetas en un horno a una temperatura de  $103 \pm 2^\circ \text{C}$ , para secarlas, las probetas se deberán de pesar periódicamente hasta tener un peso constante. ( Debido que el tamaño de las muestras es de 2.5 cm el secado al horno con un buen flujo de aire, 48 hrs. fueron suficiente para obtener el peso seco.

El volumen se determinó mediante el principio de Arquímedes, utilizando una balanza analítica un hilo, agua y un sostén, se introdujo la probeta al agua sostenida en una de las esquinas por la aguja y el hilo de tal manera que se pueden colgar de la estructura, y luego introducir lentamente la probeta en un becker que está colocado sobre la balanza analítica, el cambio de volumen será el volumen verde de la probeta ( el agua posee una densidad de  $1 \text{ gr}/\text{cm}^3$ )  
(Nota: se fue muy cuidadoso con la temperatura de tal manera de no realizar este proceso demasiado rápido, ya que la madera podía colapsar)

### 5.5.2.2. Contracción de la madera ( astm d 143-83)

Se conoce como contracción de la madera a la reducción dimensional que experimenta la madera desde la condición verde hasta seca al horno. Puede ser radial, tangencial, longitudinal.

⊗ Para el calculo de la contracción se utilizaron 4 relaciones:

1. Contracción Tangencial:

$$\% \text{CT} = ( \text{dvt}-\text{dst} / \text{dvt} ) * 100$$

donde:

% CT: Contracción tangencial

dvt: dimensión verde tangencial

dsr: dimensión seca tangencial.

2. Contracción Radial:

$$\% \text{CR} = ( \text{dvr}-\text{dsr} / \text{dvr} ) * 100$$

donde:

% CR: Contracción radial

dvr: dimensión verde radial

dsr: dimensión seca radial.

3. Contracción longitudinal:

$$\% \text{CL} = ( \text{dvl}-\text{dsl} / \text{dvl} ) * 100$$

donde:

% CR: Contracción longitudinal  
 dvl: dimensión verde longitudinal  
 dsl: dimensión seca longitudinal.

4. Contracción volumétrica calculada:

$$\% \text{ Cvc: } [(100 + \text{CT}) (100 + \text{CR}) (100 + \text{CL}) / 10,000] - 100$$

Se entiende madera en condición verde, aquella cuyo contenido de humedad sea superior al 30%. Para la determinación de las dimensiones de las probetas, se usa micrómetro con la aproximación y exactitud necesaria (3).

### 5.5.2.3. Longitud de traqueidas

De las primeras rodelas utilizadas para estimar la contracción de cada árbol se extrajeron finas astillas, se colocaron en un tubo de ensayo y se cubrieron con una solución de volúmenes iguales de ácido crómico al 10% y ácido nítrico al 10%. Las muestras permanecieron en dicha solución 8 días. Utilizando un mortero de 10 ml, se maceraron las muestras para poder proceder a realizar montajes y medir la longitud de fibras de cada una de las secciones de los 5 árboles muestra.

## 5.6. Análisis de los resultados

Para el análisis de las muestras obtenidas se ordenaron según los criterios mencionados anteriormente tanto para la densidad, contracción, longitud de fibras para cada árbol. Luego de ello se utilizaron cuadros promedio por sección (Se sacaron promedios de cada sección diamétrica y longitudinal de tal manera que para cada sección se obtuvo un dato que representa a cada árbol y un dato de promedio general) asimismo se utilizaron gráficas para poder realizar un análisis descriptivo de la variación de las propiedades físicas seleccionadas para este estudio en particular y así poder observar el comportamiento de cada una de las propiedades seleccionadas por árbol y por promedio de los 5 árboles. De igual forma con los datos promedio obtenidos se estarán utilizando tablas de clasificación de la calidad de la madera planteadas por Arostegui, V (3) y Heck y Markwards citados por Morataya M. (12) por último se utilizarán cuadros finales con los promedios generales de los 5 árboles para poder observar el comportamiento interno de la madera de *Pinus caribea* var. *Hondurensis*.

## **6. RESULTADOS**

### **6.1. Anatomía de la madera joven de *Pinus caribaea* var *Hondurensis***

La organización celular de la madera de las pinophytas es bastante simple, su estructura es más simple que la de especies de latifoliadas. Se constituye de traqueidas con función conductora y de sostén, y células parénquimáticas. No presenta vasos ni fibras (7).

Para la mejor descripción de la estructura de la madera se realizaron cortes de los tres planos los cuales son: Plano Tangencial, Plano Transversal, Plano Radial. Se obtuvieron los siguientes resultados.

#### **6.1.1. Plano tangencial**

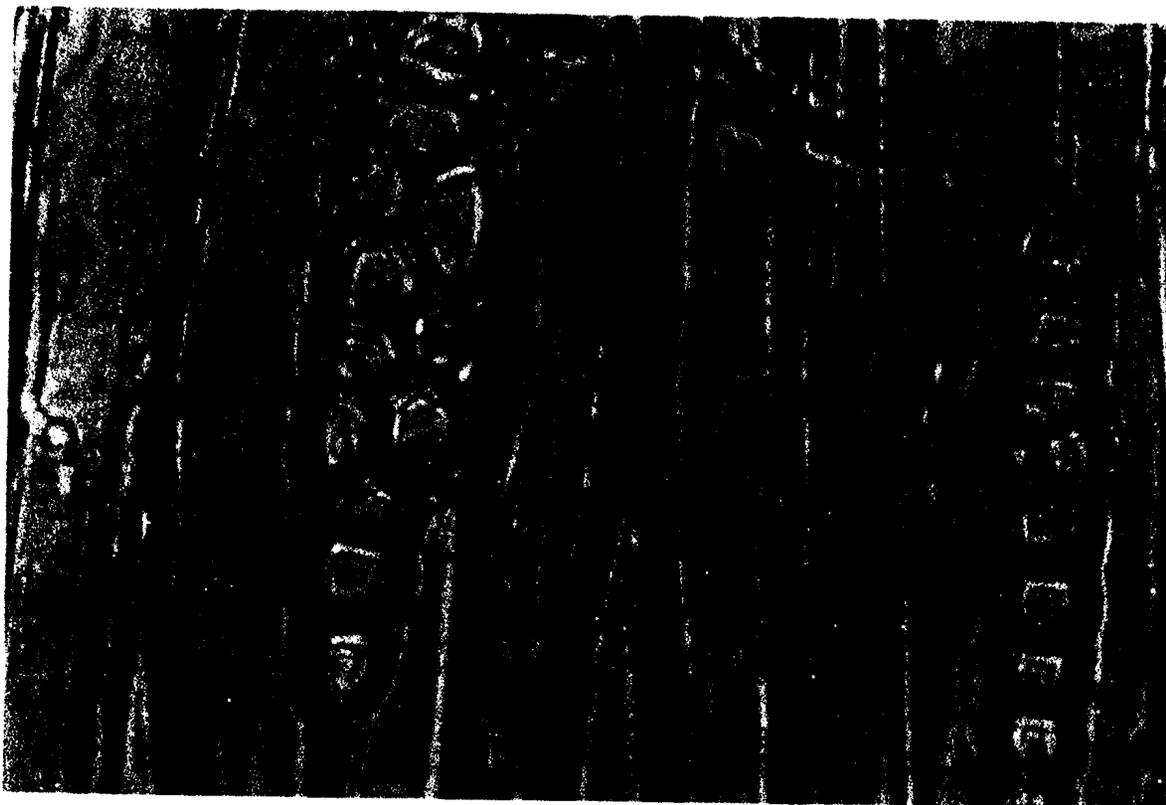
En el corte tangencial fue posible observar los siguientes tejidos: radios parenquimáticos vistos transversalmente y traqueidas vistas longitudinal, por lo que se puede apreciar su largo, este es relativamente mayor al compararlo con traqueidas de especies latifoliadas. En el mismo montaje no es posible apreciar la longitud total de las traqueidas. Se observó claramente las regiones de punteaduras areoladas en la zona de traslape entre dos traqueidas. Estas se observan como abultamientos que se proyectan hacia los dos lados de la pared celular. Por lo que se determina que las punteaduras son areoladas. Aunque es posible observar la presencia de punteaduras a lo largo de toda la pared celular, estas se concentran más en los extremos de las traqueidas en la zona de traslape con la traqueida superior. Los radios xilemáticos son uniseriados, pudiendo presentarse de dos formas: formado exclusivamente de parenquima procumbente, o con parénquima procumbente y algunas filas de parenquima erecto en medio aunque no de forma uniforme en cuanto a su localización dentro del radio. Por esa disposición se le llama radios heterogéneos exclusivos uniseriados.



Fotografía 1. Corte tangencial. Visto con lente de aumento 10x. ( Foto: Santos Godoy, J.A. 2002 ).



Fotografía 2. Corte tangencial visto con lente de aumento 100x. ( Foto: Santos Godoy, J.A. 2002 ).



Fotografía 3. Corte tangencial, vista con un lente de aumento de 400x.( Foto: Santos Godoy, J.A. 2002).

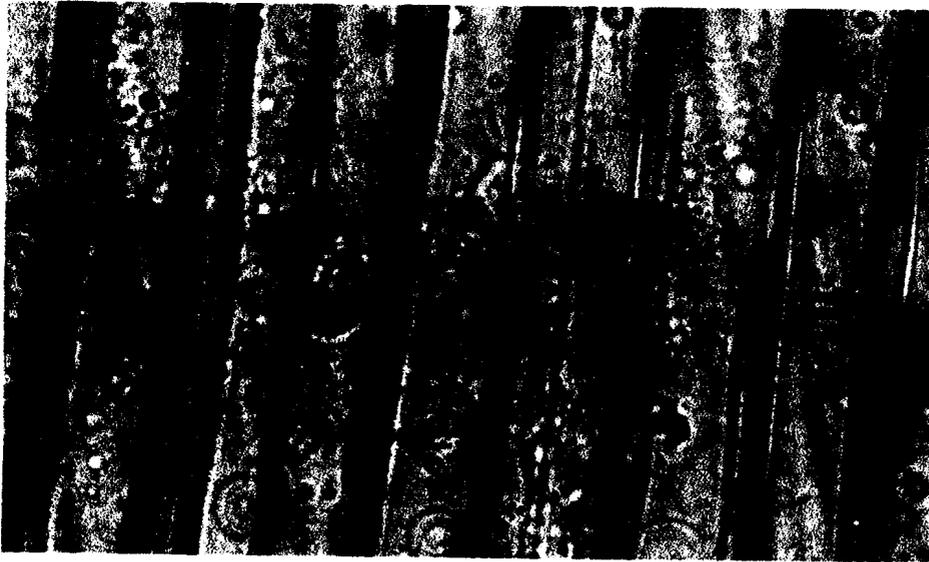
#### 6.1.2. Plano radial

En esta vista es posible observar los tejidos: Traqueidas en sección longitudinal y los radios en sección longitudinal y puntuaciones. La vista de ambos tejidos en forma longitudinal permiten observar el tipo de punteaduras que los unen. La unión entre traqueidas es asegurada por punteaduras areoladas, las cuales son observadas en esta sección de planta, que corresponde a un círculo grande con otro adentro ( el poro con el torus). Es posible observar lo que se había mencionado anteriormente, es decir que la concentración de las puntuaciones areoladas es alta en los extremos de las traqueidas, reduciendo su número hacia el centro. En los campos de entrecruzamiento se observa puntuaciones de tipo pinoide, estas son sencillas, y elipsoides. El número de punteaduras pinoides por campo de entrecruzamiento entre una traqueidas y una célula radial, no es constante, pudiendo ir de cinco a diez aproximadamente. Los radios xilemáticos corroboran lo visto anteriormente en el sentido que son

preferentemente formados por células procumbentes. En cuanto a las traqueidas el único elemento nuevo fue lo relacionado con las punteaduras.



Fotografía 4. Corte radial vista con un lente de aumento de 10x.( Foto Santos Godoy, J.A. 2002)



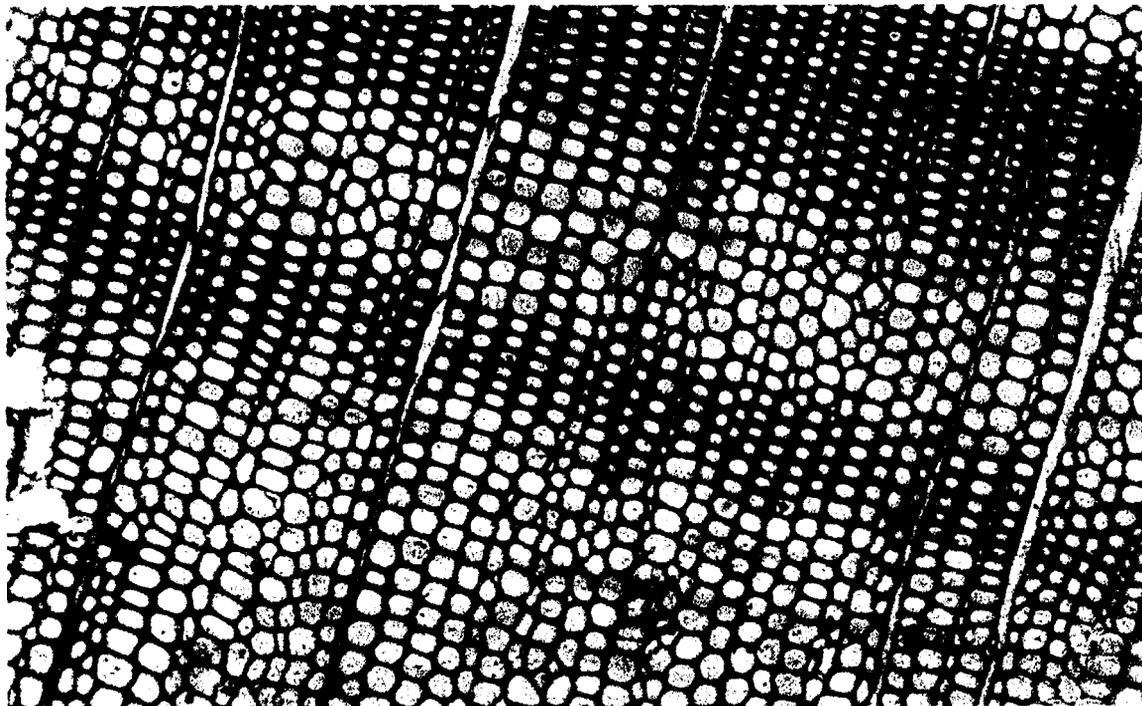
Fotografía 5. Corte radial, visto con un lente de aumento de 100x.(Foto. Santos Godoy, J.A. 2003)



Fotografía 6. Corte Radial, visto con un lente de aumento de 400x.( Foto. Santos Godoy, J.A. 2002)

### 6.1.3. Plano transversal

En el corte transversal se observó con facilidad las traqueidas y canales resiníferos. Es posible diferenciar correctamente el leño temprano del leño tardío, debido a que el lumen del leño tardío está reducido en más de la mitad en comparación del lumen del leño temprano. Los anillos formados son perpendiculares a la línea radial que siguen las traqueidas. Las paredes de las traqueidas son poligonales, de cuadrangulares a octagonales. Las traqueidas están dispuestas en filas radiales bien determinadas aumentando el número de filas radiales a medida que se aleja del centro. Los grupos de traqueidas son separadas por líneas que están formadas por radios xilemáticos. Los canales resiníferos aparecen como poros en medio de la matriz de las traqueidas pudiendo aparecer tanto en el leño temprano como en el leño tardío aunque preferentemente el primero. Se puede observar la gran densidad de resiníferos, lo que da una idea de lo productivo que es este árbol en relación la resina.



Fotografía 7. Corte Transversal visto con un lente de aumento de 100X. ( Foto. Santos Godoy, J.A. 2002)



Fotografía 8. Corte transversal, visto con un lente de aumento de 400x. ( Foto.Santos Godoy, J.A. 2002)

Se puede observar en el corte transversal la región cambial o cambium, el cual está constituido por una faja de células meristemáticas secundarias, las cuales son las responsables de la formación de las células llamadas células madres del xilema y células madres del floema. En condiciones climáticas como las de Guatemala, los anillos de crecimiento se forman por las variaciones del régimen hídrico, a lo largo del año. La época de crecimiento coincide con la época de lluvias. Así mismo se puede observar el leño inicial y el leño tardío, el leño tardío, se forma al final de las estaciones de crecimiento y se caracteriza por estar constituido por células de paredes gruesas, de menor diámetro y mas larga. Las propiedades físicas de leño temprano y el leño tardío son muy diferentes, El leño tardío es menos denso, consecuentemente, tiene menos resistencia. La presencia de los leños iniciales y tardíos en la madera, contribuyen mucho a su comportamiento anisótropo.

La organización celular de los tallos del pino caribe es una estructura muy simple, se constituye con función conductora y de sostén, y células parenquimáticas. No se presentan ni vasos ni fibras. Las traqueidas axiales son a menudo muy largas manteniendo una longitud arriba de 1mm, las medidas transversales varían en rango de 45 a 80 micras. De aquí que las traqueidas axiales son débiles estructuras ya que son hasta 100 veces mas largas que anchas. Las traqueidas poseen formas poligonales desde cuadrados hasta octágonos y el espesor de sus paredes varia en función de su posición. En el plano radial se ven las traqueidas radiales, se diferencian de las células parenquimáticas por sus puntuaciones aeroladas, que ocurren en las paredes de las células. Las células de las traqueidas radiales no solo ocurren a lo largo sino entre las células parenquimáticas radiales. Respecto a tipo de puntuaciones se observan que se distribuyen en mayor número en la superficie radial de las traqueidas y son mas frecuentes en las extremidades sobrepuestas. Las traqueidas de leño inicial tienen las puntuaciones grandes y con aberturas internas circulares, mientras que las del leño tardío son de menor tamaño con aberturas interna ovaladas. Se puede observar que las puntuaciones tienen una forma externa circular del borde, y una abertura interna también circular, que es la abertura circular de la puntuación. Las puntuaciones son areoladas y de acuerdo a la clasificación de Phillips (1984) citado por Morataya M. (12) son de tipo pinoide.

## **6.2. Análisis de las propiedades físicas seleccionadas de la madera joven de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis***

La madera no es un material uniforme, por el contrario presenta una alta variabilidad en sus propiedades, tal es el caso de la densidad ( van Buijtenen, 1963), que en muchas especies disminuye del centro a la periferia y de la base hacia el ápice. De igual forma la contracción es variable dentro del árbol comportándose de forma semejante a la densidad en su variabilidad (22).

### **6.2.1. Variación de la densidad en *Pinus caribaea* var *Hondurensis***

Una vez estimada la densidad de la madera de cada sección se procedió a ordenar los datos y estimar el promedio de cada una de las secciones. En el cuadro No. 4, podemos observar el resultado de los promedios de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var *Hondurensis* en cada una de las secciones seleccionadas.

Cuadro 4. Promedio general de densidades obtenidas de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var *Hondurensis*

Altura	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
30cm	0.48308278	0.57494903	0.60951993	0.60677746	<b>0.5685823</b>
1.5	0.4510981	0.56107485	0.59103536		<b>0.53440277</b>
2.7	0.39108348	0.53843039	0.56544048		<b>0.49831812</b>
3.9	0.37264068	0.52392997	0.54858987		<b>0.48172017</b>
5.1	0.3628386	0.51752209	0.54413011		<b>0.47483027</b>
6.3	0.35813157	0.51207094	0.53173227		<b>0.46731159</b>
7.5	0.35631964	0.51095981	0.52492809		<b>0.46406918</b>
8.7	0.35330749	0.5025838	0.52197518		<b>0.45928882</b>
9.9	0.35115086	0.50175924	0.50889857		<b>0.45393622</b>
11.1	0.35333398	0.50614453			<b>0.42973926</b>
<b>Promedio</b>	<b>0.38329872</b>	<b>0.52494246</b>	<b>0.54958332</b>	<b>0.60677746</b>	

El valor promedio general de la densidad de la madera que se encontró para los 5 árboles analizados de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* fue de  $0.49 \text{ gr/cm}^3$ , con un valor mínimo de  $0.33 \text{ gr/cm}^3$  y un valor máximo de  $0.64 \text{ gr/cm}^3$ . El valor promedio general corresponde a una madera "Moderadamente Pesada" de acuerdo con la tabla de clasificación desarrollada por Markwar y Heck. (Echenique M. Y Diaz G., 1972) (anexo .5) (12) Este valor promedio general de la densidad permite considerar a la madera de *Pinus caribaea* var *Hondurensis* como de buena calidad debido a que genera mayor capacidad calorífica, mayor producción de celulosa y una mayor resistencia respectivamente, tal valor tiene ventajas comparativas en relación a densidad bajas de la madera.

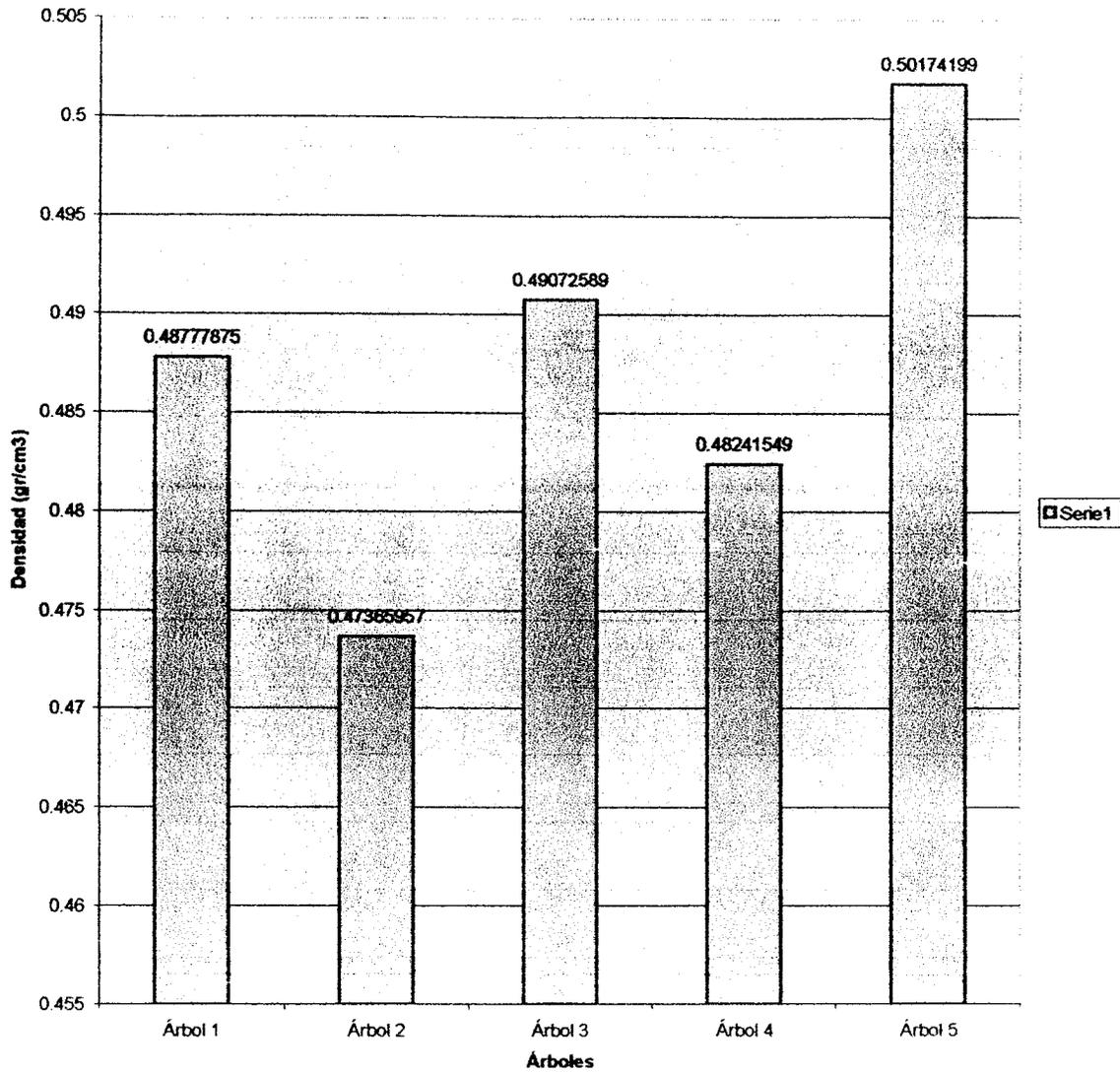
Al comparar el valor encontrado de la densidad de la madera ( $0.49 \text{ gr/cm}^3$ ) en estudio, con los señalados por diversos autores para otras especies del mismo género, se observa que es muy similar a valores reportados para *P. michoacana* (García M., 1984) y *P. rudis* (Manzo) S. 1992); mientras que se observa que es un valor inferior comparado con el obtenido para *P. cebroides* (Vaca B., 1992) y *P. teocote* (García M., 1984) y es superior en comparación con valores encontrados para *P. maximinoi*, *P. patula*, *P. oaxacana* (García M., 1984) (22) ahora bien comparándolo con valores de la misma especie se observa que en comparación con estudio de *Pino caribaea* realizado para 80 árboles de la 35 años de edad el valor aumenta a  $0.52 \text{ gr/cm}^3$  (Plancarte B., 1987) (22) el valor difiere considerablemente al encontrado en este estudio. Todo lo anterior muestra claramente lo que mencionan autores como Daniel et al. (1982), Zobel y Talbert (1988) (22) quienes señalan que existe una considerable variación de la densidad de la madera entre árboles de una misma especie, entre especies y entre diferentes áreas geográficas, que son consecuencia de que dicha característica está influenciada por la condición genética del individuo y el ambiente en el cual crece. Para este estudio se utilizaron los cuadros

resumen de la densidad de cada uno de los árboles (anexo.1.) mediante los promedios de la distribución de la densidad tanto diamétrica como altitudinal se sacó la varianza a cada uno de los árboles, los resultados se pueden apreciar en el siguiente cuadro.

Cuadro 5. Valores promedio de densidad de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var *Hondurensis* en estudio

<b>Numero de Árboles Muestra</b>	<b>Densidad Promedio Gr/cm<sup>3</sup></b>
<b>Árbol 1</b>	0.48777875
<b>Árbol 2</b>	0.47365957
<b>Árbol 3</b>	0.49072589
<b>Árbol 4</b>	0.48241549
<b>Árbol 5</b>	0.50174199

Densidad Promedio de 5 Árboles de Pinus caribaea var Hondurensis



Gráfica 1. Valores Promedio general de la densidad de cada uno los 5 árboles de Pinus caribaea var Hondurensis. Fuentes: Santos Godoy, J.A. 2003)

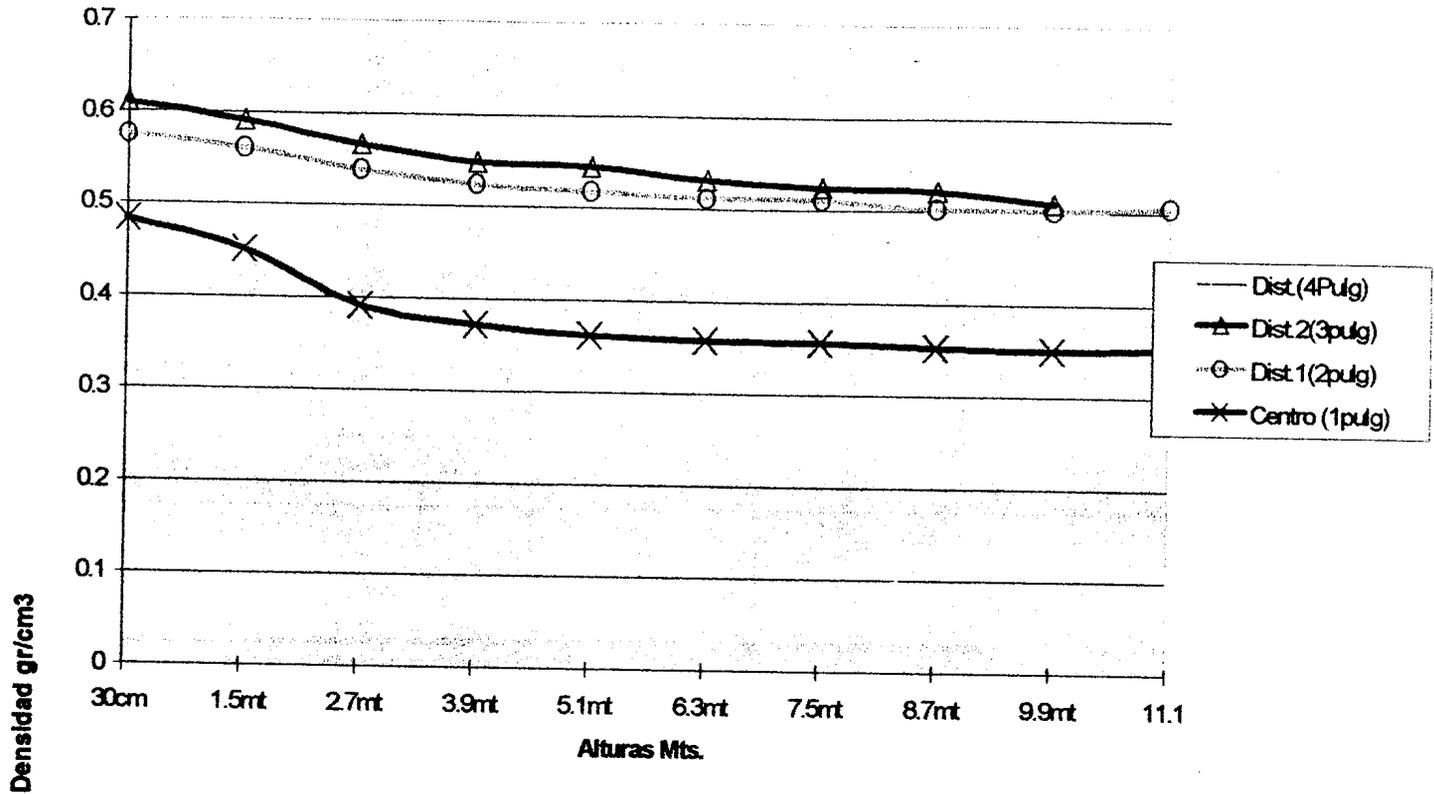
Se conoce por referencias de otros estudios que la densidad de la madera varia entre árboles y dentro del mismo árbol de una misma especie, misma edad y condiciones similares o iguales, puesto que las características físicas y propiedades de la madera son generalmente diferentes para algunas especies del genero Pinus (Zobel y Talbert ,1988) (22); En la gráfica No.1, se demuestra lo anterior mencionado mostrando una los valores promedio de densidad de cada uno de los 5 árboles pudiendo mostrar que existe variación entre árboles de la misma especies producidos bajo un mismo manejo silvicultural y expuesto a las mismas condiciones climáticas.

#### **6.2.1.1. Variación de la densidad de la madera en su distribución diamétrica y altitudinal dentro del árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis***

Con el fin de determinar el comportamiento del patrón de variaciones de la densidad de la madera dentro de árboles de la misma especie de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* en la sierra de Sta. Cruz, Plantación de la empresa Codema S.A, Proyecto El Disloque, se obtuvieron los valores generales promedio (cuadro No. 6) para cada una de las secciones. Tales medidas mostraron que la densidad de la madera es muy variable en ambos sentidos del árbol, altitudinal como diamétrico. Con valores que van desde un mínimo de  $0.34\text{gr/cm}^3$  a un máximo de  $0.64\text{ gr/cm}^3$ . En la gráfica No.2, se observa claramente que en la distribución altitudinal del árbol en las rodelas de la parte inferior se cuenta con los valores más altos disminuyendo hacia el ápice, presentando los valores más bajos en la parte superior del árbol, mientras que por el otro lado se observa algo semejante con los valores de la distribución diamétrica, donde los valores más bajos se presentan en la parte central del árbol aumentando hacia la periferia del mismo. Por lo consiguiente, analizando las diferencias que existen en los valores de la densidad de la madera promedio de los 5 árboles presentados en la cuadro No.6, se observa que la madera tiene amplia variación de su densidad, lo cual puede dificultar en algunos casos obtener productos de alta calidad por su falta de uniformidad, pero también marca la posibilidad de obtener productos con valor diferencial, en razón de su calidad.

Cuadro 6. Promedio general de los valores de densidad encontrados en 5 árboles de Pinus caribaea var. Hondurensis, procedentes de El Estor Izabal, Finca Semuc-6, Proyecto Disloque.

Altura de corte de rodela	Valor Promedio de la densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) por altura (mts)	Valor Promedio de la densidad de la madera (gr/cm <sup>3</sup> ) por altura y sección				
		Centro 25.4mm	Dist.1 50mm	Dist.2 76.2mm	Dist.3 101.6mm	No de Muestra
11.1	0.42973926	0.35333398	0.50614453			25
9.9	0.45393622	0.35115086	0.5025838	0.50889857		45
8.7	0.45928882	0.35330749	0.5025838	0.52197518		45
7.5	0.46406918	0.35631964	0.51095981	0.52492809		45
6.3	0.46731159	0.35813157	0.51207094	0.53173227		45
5.1	0.47483027	0.3628386	0.51752209	0.54413011		45
3.9	0.48172017	0.37264068	0.52392997	0.54858987		45
2.7	0.4931812	0.39108348	0.53843039	0.56544048		45
1.5	0.53440277	0.4510981	0.56107485	0.59103536		45
30cm	0.5685823	0.48308278	0.57494903	0.60951993	0.60677746	65
Promedio de la densidad (gr/cm <sup>3</sup> ) por sección		0.38329872	0.5249424	0.5495932	0.6067774	
	No. De muestras	50	200	180	20	450



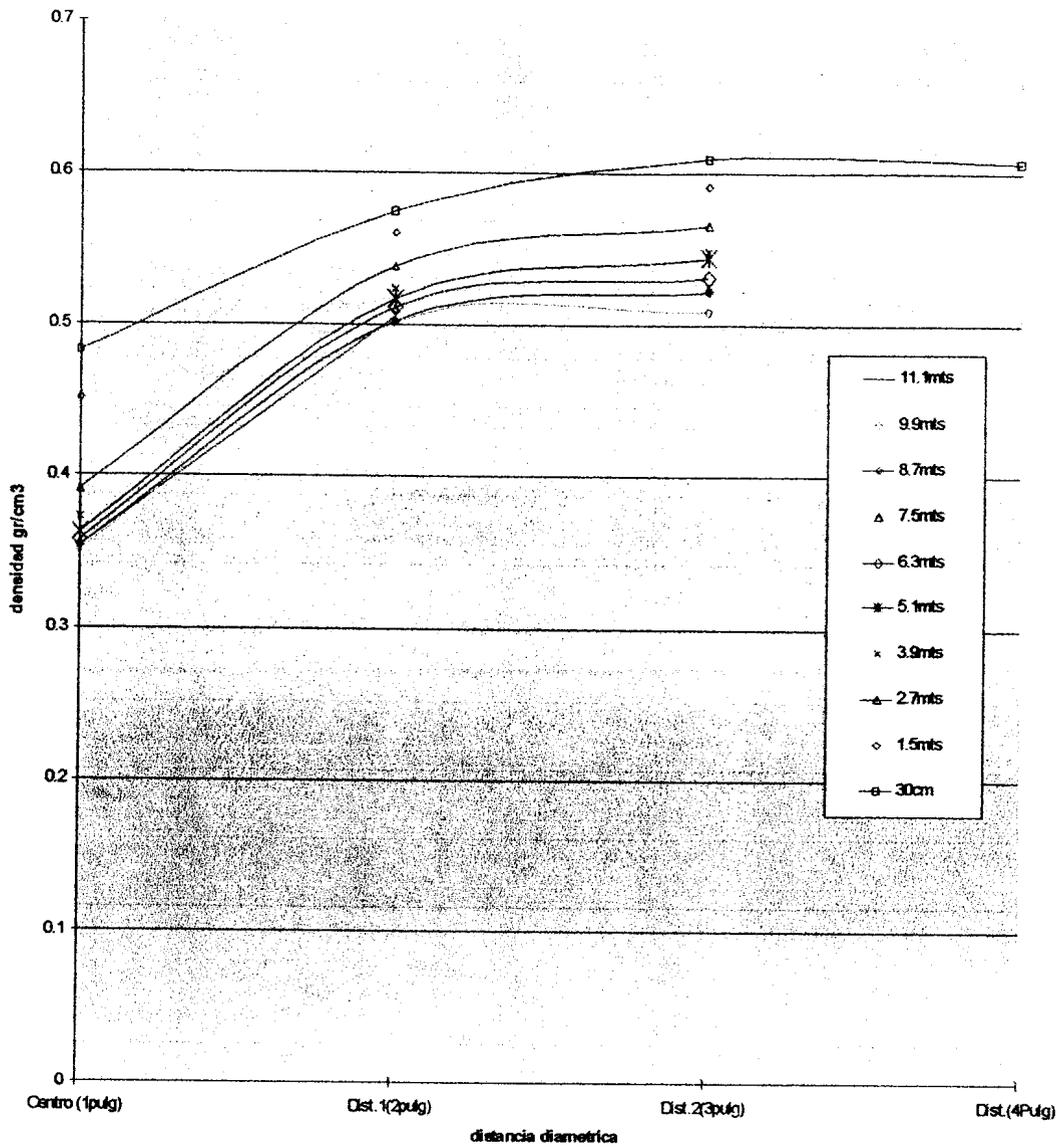
Gráfica 2. Variación de la densidad de la madera dentro del mismo árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* en relación a la distribución altitudinal. Fuentes : Santos Godoy, J.A. 2003)

Zobel (21) describe que el valor de la densidad de la madera y su variación depende en alto grado de la altura y sección del árbol de donde se toma la muestra. Por su parte, Hocker (1984) menciona que la densidad de la madera está influenciada por la estructura genética del árbol asimismo se menciona que la densidad de la madera varía, a la vez, por la cantidad y clases de sustancias que contiene, por ejemplo resinas y ligninas. (15) Es fundamental considerar lo anterior porque desde el punto de vista económico y en especial para la industria del aserrío, así como para la industria mueblera, se requieren materia prima con características más uniformes que podrían proveer al final productos con una mayor uniformidad y calidad.

En la gráfica 2, se observa cada una de las líneas representa una sección diamétrica desde el centro hasta la periferia, pudiendo mostrar que a medida que incrementa la altura (plano X de la gráfica 2) la

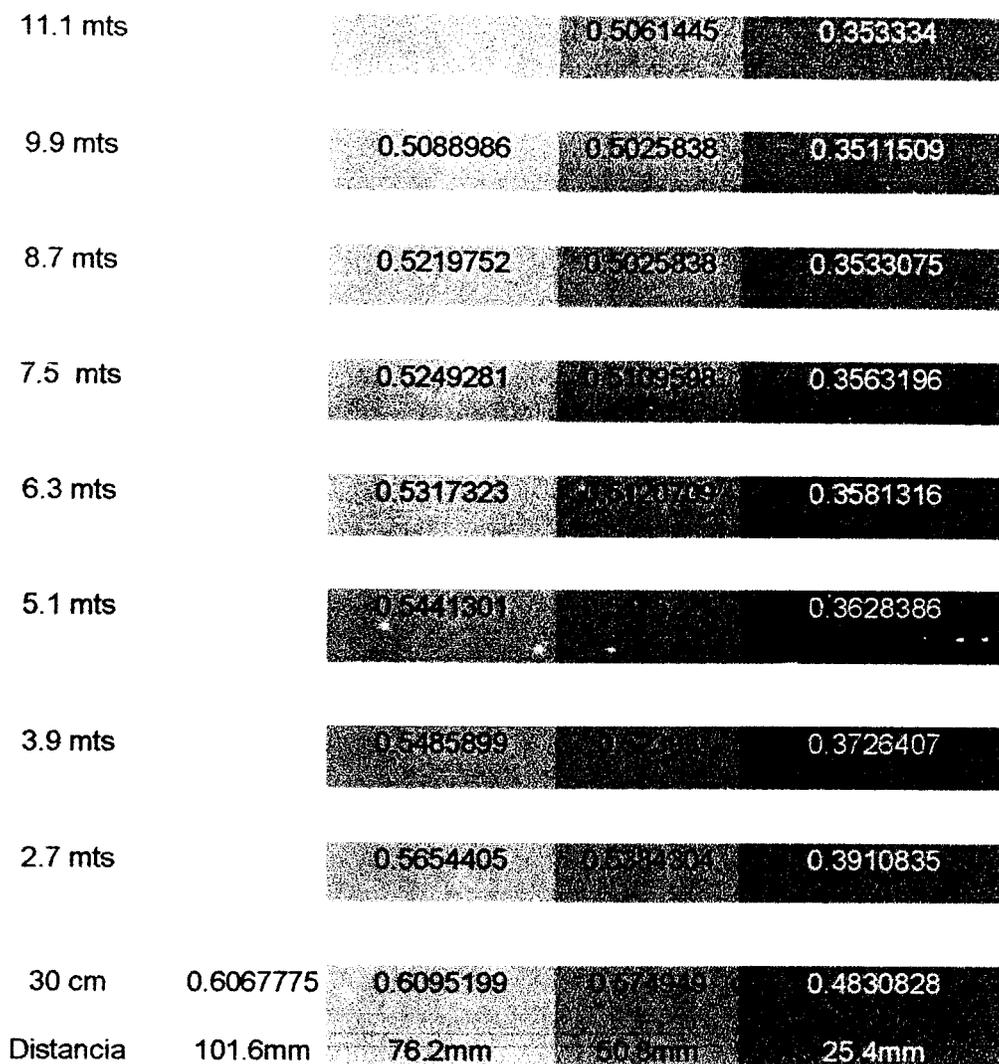
densidad disminuye, de igual forma entre las líneas se presentan un orden ascendente ya que la línea que representa al centro de árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* está en la parte inferior y lo siguen con valores mayores de las distancias de la medula a la periferia del árbol distancia.1, distancia.2, y por último la distancia.3.

La mayoría de los resultados que se han registrado sobre la variación natural de la densidad de la madera tanto dentro como fuera del país, presentan similitud al comportarse de manera semejante en su patrón de variación de la densidad en sus secciones transversales y longitudinales del árbol. (21) De igual forma para este estudio, se tiene un comportamiento similar, se aprecia que los resultados son producto de información obtenida de varios árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, cuyo denominador común es el hecho de que la densidad de la madera se incrementa generalmente del centro a la periferia del árbol a medida que aumenta la edad. A su vez presenta un patrón de variación disminuyendo la densidad de la base al ápice como se muestra en el Cuadro No.6 y la Gráfica No.2



Gráfica 3. Variación de la densidad dentro del árbol del *Pinus caribaea* var. *hondurensis* en relación a su distribución diamétrica y altitudinal. Fuente. Santos Godoy, J.A. 2003

Como se observa en la gráfica 3, las líneas representan las densidades a las diferentes alturas, la línea que representa a la altura 30cm está en la parte superior lo cual indica que las densidades en esta área son las mayores y a su vez a medida que vemos el cambio en el (plano X, de la gráfica 3) que representa la distancia diamétrica del centro a la periferia del árbol, la línea tiende a incrementar hasta llegar a un punto donde su desviación se inicia a comportar de forma continua, este mostrando lo que se mencionaba anteriormente que sobre la variación de la densidad dentro de un mismo árbol.



Grafica 4. Variación de la densidad de la madera en relación a su distribución diamétrica Altitudinal. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

En esta gráfica podemos observar con mayor detalle el comportamiento de la variación dentro del árbol de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, a medida que la tonalidad en la gráfica aumenta indicando una mayor cercanía al centro y menor serán los valores de la densidad.

### 6.2.2. Variación de la contracción en *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*

La contracción de la madera se define como la variación dimensional que experimenta la madera bajo el punto de saturación de la fibra; la contracción a su vez se ve muy influenciada por la orientación de las fibras (22). Se conoce que la variación de la contracción de la madera actúa de forma similar a la variación que presenta la densidad dentro de un mismo árbol y dentro de árboles de la misma especie (22), para poder comprender mejor lo que se menciona anteriormente se determinó la contracción de la madera para cada una de las secciones para poder analizar el comportamiento de la variación de la contracción entre árboles de la misma especie y dentro del mismo árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*.

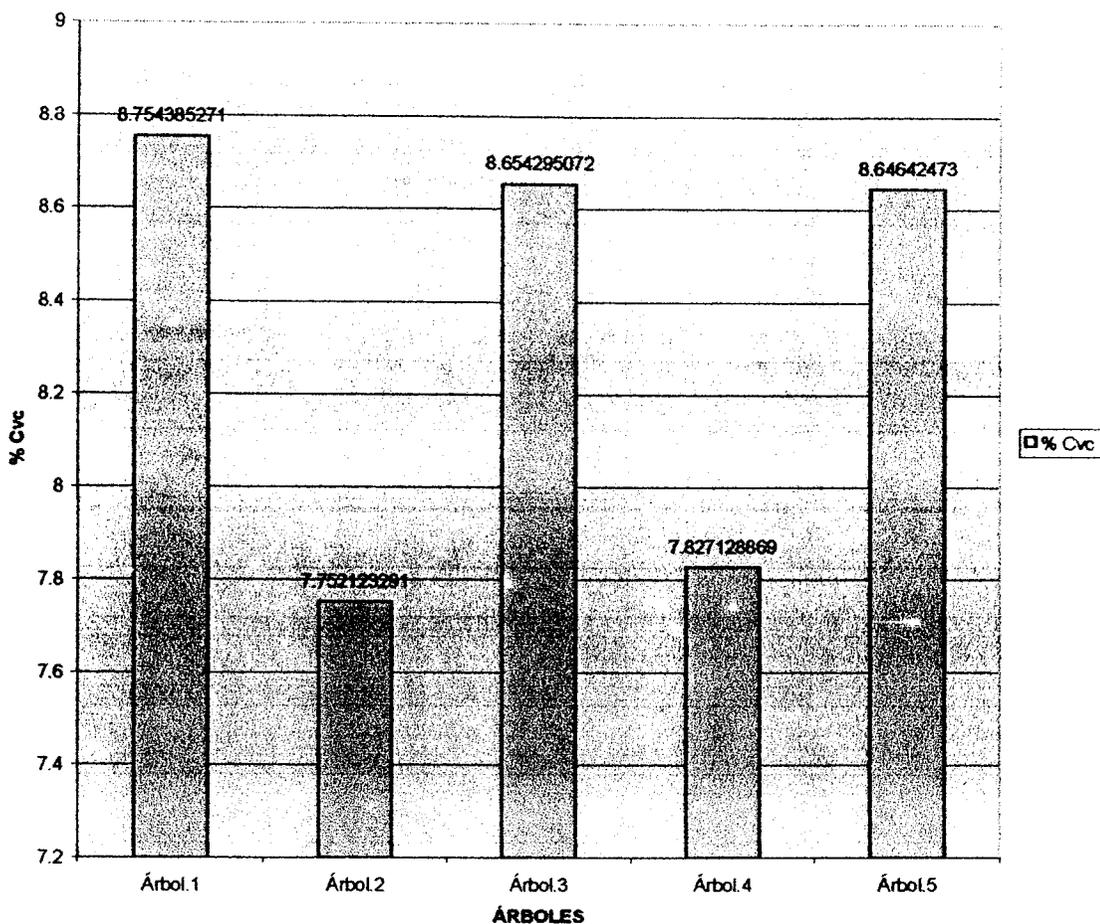
En el cuadro 7 existe una variación entre los promedios de la contracción volumétrica calculada (% Cvc) de 5 árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*, para poder observar mejor su comportamiento observemos los mismos datos puestos en un gráfico (gráfica 5) en la cual se observa claramente que de un árbol a otro existen valores diferentes, esto demostrando que existe una variación en la contracción entre árboles de la misma especie.

Cuadro 7. Promedio general de la (%) Contracción Volumétrica calculada de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*

Promedio general de %Cvc Contracción Volumétrica Calculada					
	Árbol.1	Árbol.2	Árbol.3	Árbol.4	Árbol.5
% Cvc	8.75438527	7.75212329	8.65429507	7.82712887	8.64642473

PROPIEDAD DE LA EMPRESA NACIONAL DE MADERA DE GUATEMALA  
Banco Agrario Nacional

Comparación entre Promedio general %Cvc entre árboles



Gráfica 5. Comparación entre promedios de %Cvc de los 5 árboles en estudio de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

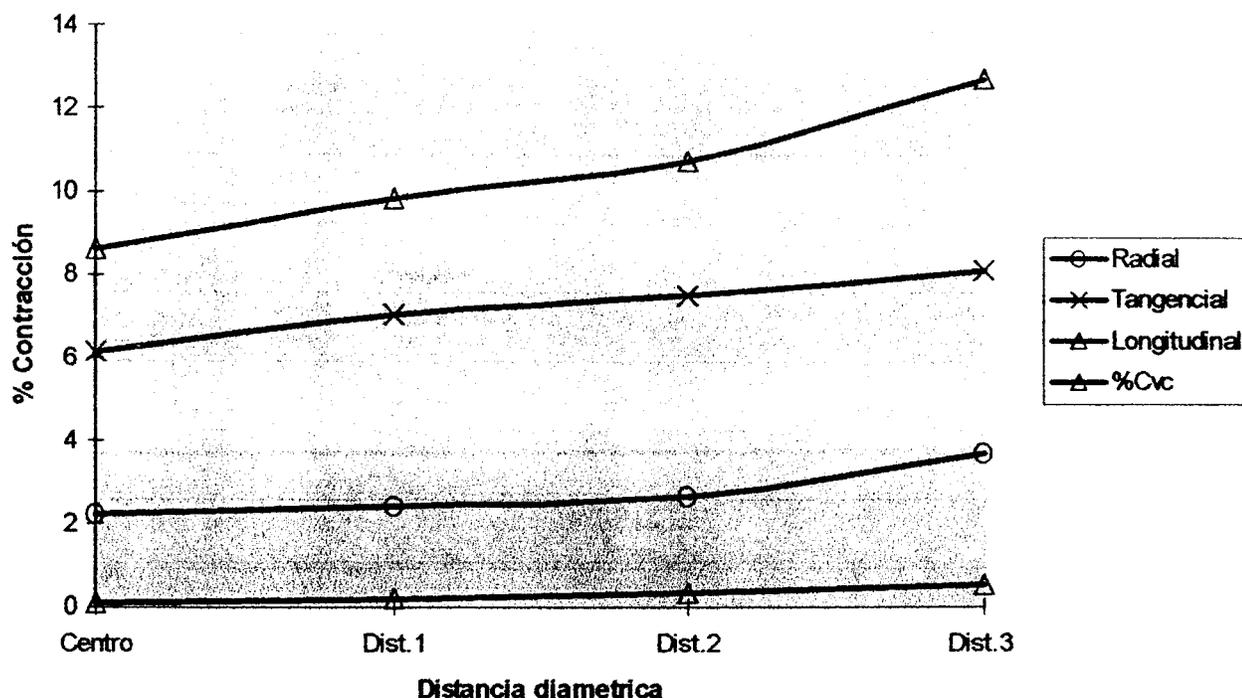
De igual forma se puede apreciar que existe una variación de la contracción entre árboles de la misma especie, existe variación dentro del árboles de la misma especie, analizando los datos promedio general de la Contracción volumétrica calculada por árbol se obtuvo un valor promedio máximo del % Cvc. 12.8610652 un valor promedio mínimo de %Cvc. 5.3586 y un valor promedio general de %Cvc 8.52577 pudiendo así confirmar que existe variación dentro del árbol con respecto de la contracción. El cuadro 8 se presentan los valores de promedio general obtenido de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* para poder apreciar mejor el comportamiento de la madera en relación a su contracción, asimismo dichos valores reflejan el comportamiento interno del árbol afectado por la orientación de las fibras analizado su plano tangencial, radial y longitudinal.

Cuadro 8. valores de los promedios generales de la contracción de los 5 árboles de *Pinus caribea* var *Hondurensis* por sección en distribución di amétrica y longitudinal.

<b>Promedio General</b>					
<b>Contracción de la madera</b>					
<b>Altura.1</b>	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>	<b>Dist.3</b>	<b>Promedio</b>
<b>Radial</b>	2.67928711	2.8767562	3.05830075	4.51835528	3.28317483
<b>Tangencial</b>	4.53265757	5.4204134	6.12690209	6.64418231	5.68103884
<b>Longitudinal</b>	0.16056236	0.33232456	0.50910069	0.62084568	0.40570832
<b>%Cvc.</b>	6.4784945	7.78214969	8.89380329	11.104501	8.56473713
<b>Altura.2</b>	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>	<b>Dist.3</b>	
<b>Radial</b>	2.29182189	2.44999223	2.58972315	2.94857722	2.57002862
<b>Tangencial</b>	4.19545893	4.99685023	5.23968155	5.66822412	5.02505371
<b>Longitudinal</b>	0.08749026	0.19013938	0.2870778	0.45498715	0.25492365
<b>%Cvc</b>	5.64829386	6.71204511	7.18962987	8.18232196	6.9330727
<b>Altura.3</b>	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>		
<b>Radial</b>	1.71821939	1.90725527	2.40079408	2.00875625	
<b>Tangencial</b>	4.09104437	4.84701241	5.06087444	4.6663104	
<b>Longitudinal</b>	0.06461927	0.13626725	0.23571518	0.1455339	
<b>%Cvc</b>	4.93063779	5.97248343	6.81090602	5.90467574	

En el cuadro 8, se observa que al igual que la densidad la contracción disminuye a medida que aumenta la altura, o sea que, la contracción disminuye a medida que nos acercamos al ápice del árbol, y en la distribución diamétrica la menor contracción se da en la parte central aumentando a medida que se acerca a la periferia del árbol. La contracción de la madera muestra un comportamiento al igual que la densidad afectado por la cantidad de humedad y composición química y un factor muy importante, la orientación de las fibras (22), en el mismo cuadro se puede apreciar que existe una valor para la contracción tangencial, radial y longitudinal así como la determinación de la Contracción volumétrica calculada (%Cvc). Podemos observar claramente que la contracción en el plano tangencial es la mayor seguida por la contracción radial y por ultimo la contracción longitudinal.

### Variación de la contracción respecto a la distribución diamétrica

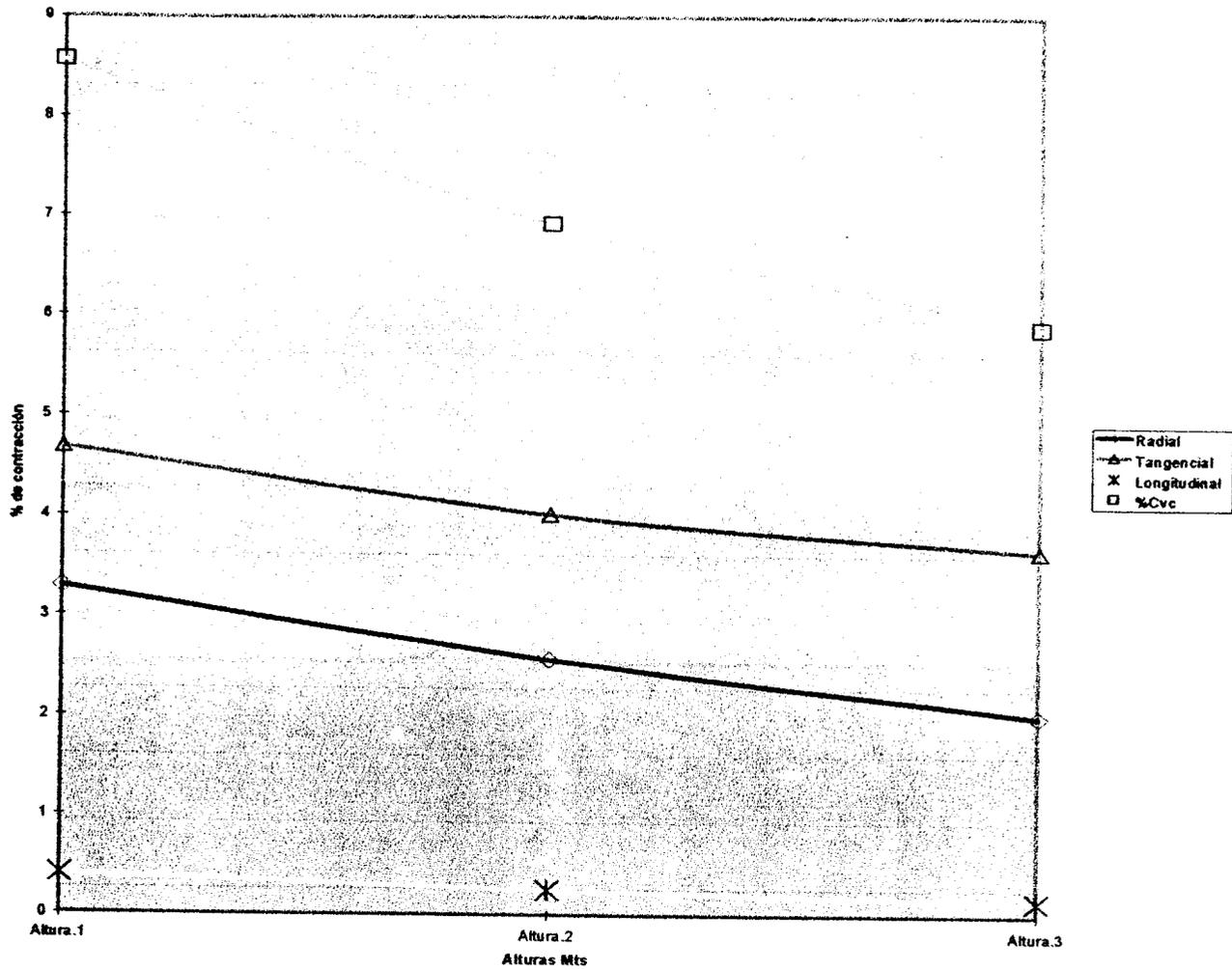


Gráfica 6. Variación de la contracción analizada en los tres planos de la madera en relación a su distribución diamétrica. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

Cuadro 9. Promedio general de la contracción de la madera de *Pinus caribaea* var. Hondurensis en relación a su distribución diamétrica.

	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
<b>Radial</b>	2.22977613	2.41133457	2.68293933	3.73346625	2.76437907
<b>Tangencial</b>	4.27305362	5.08809201	5.47581936	6.15620321	5.24829205
<b>Longitudinal</b>	0.10264617	0.20824371	0.3261806	0.50883533	0.28647645
<b>%Cvc</b>	5.68418105	6.81998779	7.62876498	9.63722321	7.44253926

Como se puede apreciar en la gráfica 6 y el cuadro 9, a medida que nos acercamos a la periferia del árbol (dist.3) los valores de la contracción tienden a aumentar asimismo podemos observar que en la línea superior respecto a las orientaciones de la fibra la contracción tangencial es la que mayores valores poseen seguida por la contracción radial y por último la contracción longitudinal.



Gráfica 7. Variación de la contracción de la madera en relación a la distribución altitudinal de la madera en árboles de *Pinus caribaea* var *Hondurensis*. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

Cuadro 10. Promedio general de la variación de la contracción de la madera en 5 árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* en relación a su distribución altitudinal (Valores Promedio General)

	Altura.1	Altura.2	Altura.3
<b>Radial</b>	3.2831	2.57	2.00876
<b>Tangencial</b>	5.6810	5.0250	4.663
<b>Longitudinal</b>	0.40524	0.2549	0.1455
<b>%Cvc</b>	8.56	6.933	5.904

En el cuadro 11 y la grafica 7, la variación de la madera en relación a su distribución altitudinal muestra un patrón similar al comportamiento de la densidad dentro del árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*,

a medida que se incrementa la altura o nos acercamos a la copa la contracción de la madera es menor, en relación a la contracción en los diferentes planos el patrón para la distribución diamétrica y altitudinal es igual la contracción tangencial es mayor, seguida por la contracción radial y con los rangos mas bajo la contracción longitudinal.

Se sabe que La contracción de la madera es un valor muy importante para ya que sirve para la determinación de la calidad de la madera que está en estudio, ya que estos valores nos sirve para poder conocer la estabilidad de la madera en procesos de secado (12). Mediante la relación de la contracción tangencial (CT) y la contracción radial (CR) se puede determinar el grado de estabilidad de la madera, esta relación se clasifico de acuerdo a la tabla utilizada por Arostegui et. Al. (3) ( anexo. 6) y para ello se utilizaron los datos obtenidos en el cuadro 9, para el análisis de la estabilidad diamétrica y el cuadro 10, para el análisis de la estabilidad altitudinal.

Cuadro 11. Valores obtenidos de la relación (Contracción tangencial / Contracción radial) para las diferentes secciones de la distribución diamétrica

	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
<b>Relación Ct/CR</b>	2.16	2.10	2.04	1.64	1.89
<b>Estabilidad</b>	Moderadamente Estable ( Pocas grietas, atención en el secado)	Moderadamente Estable (Pocas grietas, atención en el secado)	Moderadamente Estable ( Pocas grietas, atención en el secado)	Estable (Muy pocas grietas, leve atención en el secado)	Estable (Muy pocas grietas, leve atención en el secado)
<b>Clasificación</b>	Media	Media	Media	Baja	Baja

En el cuadro 11, se observa medida que nos alejamos del centro la estabilidad de la madera dentro del árbol de Pinus caribea var. Hondurensis es mayor, obteniendo los mayores valores en la parte central del árbol, donde se ubica la madera juvenil. Asimismo podemos observar que las clasificaciones no varían enormemente muestra de ello es que al analizar el valor promedio general es de 1.89 clasificando la madera como estable en relación a su distribución diamétrica.

Cuadro 12. Valores obtenidos de la relación (Contracción tangencial / Contracción radial) para las diferentes secciones de la distribución diamétrica

	Altura. 1	Altura.2	Altura.3	Promedio
<b>Relación Ct/CR</b>	1.85	1.95	2.32	2.04
<b>Estabilidad</b>	Estable ( Muy Pocas grietas, leve atención en el secado)	Estable ( Muy Pocas grietas, leve atención en el secado)	Moderadamente Estable ( Pocas grietas, atención en el secado)	Moderadamente Estable ( Pocas grietas, atención en el secado)
<b>Clasificación</b>	Baja	Baja	Media	Media

En el cuadro 12, al acercarse al ápice del árbol los valores de tienden a incrementando, mostrando menor estabilidad a medida que aumenta la altura. De igual forma podemos observar que el valor promedio es de 2.04 clasificando a la madera de pino como media, lo cual indica que en relación de la contracción en distribución altitudinal la madera muestra pocas grietas y se debe de dar atención en el momento de secado de la misma.

De acuerdo los cuadros 11 y 12 se observa que la madera de *Pinus caribaea* var *Hondurensis* es estable en el secado, la mayor estabilidad la muestra en relación a su distribución diamétrica con un valor de promedio de 1.89 esto clasificándola como una madera que no muestra mayor problema en su secado y la en relación a la distribución altitudinal muestra que es moderadamente estable con un valor mayor a la diamétrica de 2.04 en promedio pero mostrando que a su vez la distribución altitudinal no presenta mayor riesgo al momento de su secado, mas que de poner atención en el mismo.

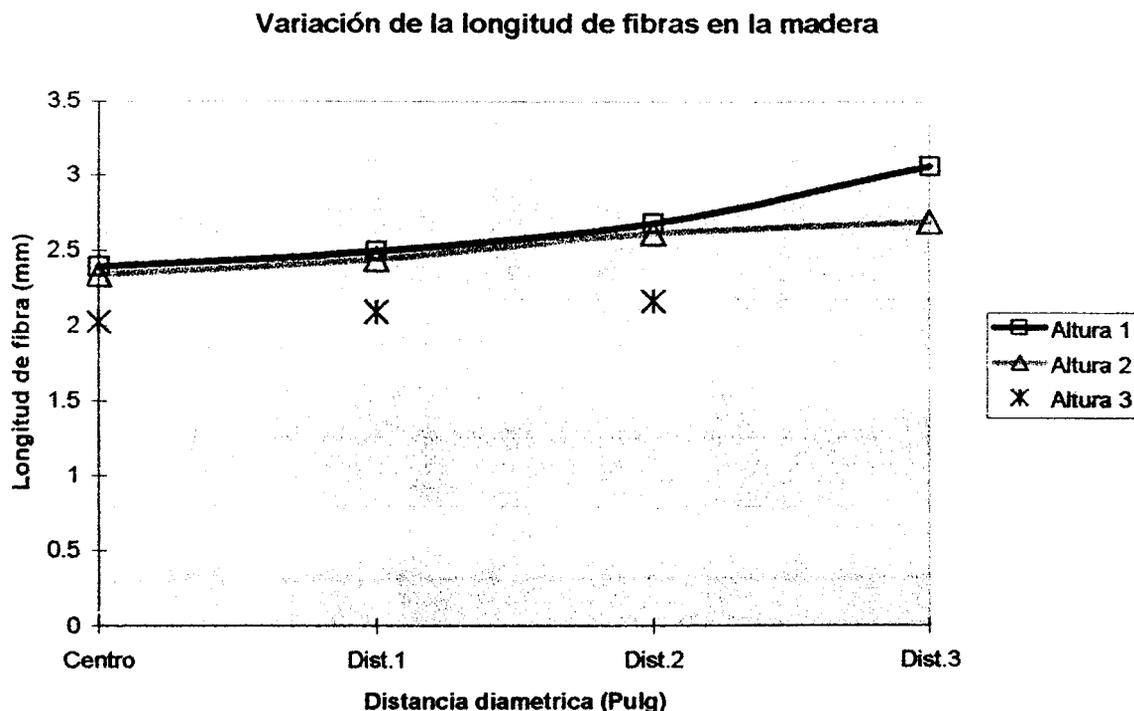
### 6.2.3. Longitud de las fibras de la madera de *Pinus caribaea* var *Hondurensis*

Las fibras o traqueidas son células más o menos alargadas con membrana secundaria lignificada y exentas de protoplasto. La longitud de las fibras es un factor importante en la calidad de la madera usada para pulpa. McMillin (1969) estudio la madera de *Pinus taeda* y encontró que las traqueidas más largas introducían mejoras en las propiedades del papel. Las coníferas presenta traqueidas largas que pueden medir desde 0.5 a 3.00 mm (13).

Las fibras o traqueidas de la madera a su vez poseen un patrón similar a la variación de la densidad dentro de la madera en relación a su longitud encontrando menor longitud en las fibras en la parte central del árbol e incrementado a manera que nos acercamos a la periferia del mismo (22). La fibras de la madera de *Pinus caribaea* var *Hondurensis* tienden a variar en su longitud encontrando valores que van desde 2.0 mm hasta valores de 3.25 mm de longitud los valores mas altos se encontraron en la periferia del árbol. De igual manera se encontró un patrón de variación en relación de la longitud de las fibras encontrando los valores mas alto en la parte baja y valores bajan a medida que se acerca a ápice del árbol.

Cuadro 13. Promedio general (mm) de la longitud de las fibras de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var *Hondurensis*.

Promedio general de la longitud de las fibras					
	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Altura 1	2.392	2.5	2.688	3.068	2.662
Altura 2	2.34	2.448	2.62	2.7	2.527
Altura 3	2.024	2.094	2.17		2.096
Promedio	2.252	2.34733333	2.49266667	2.884	

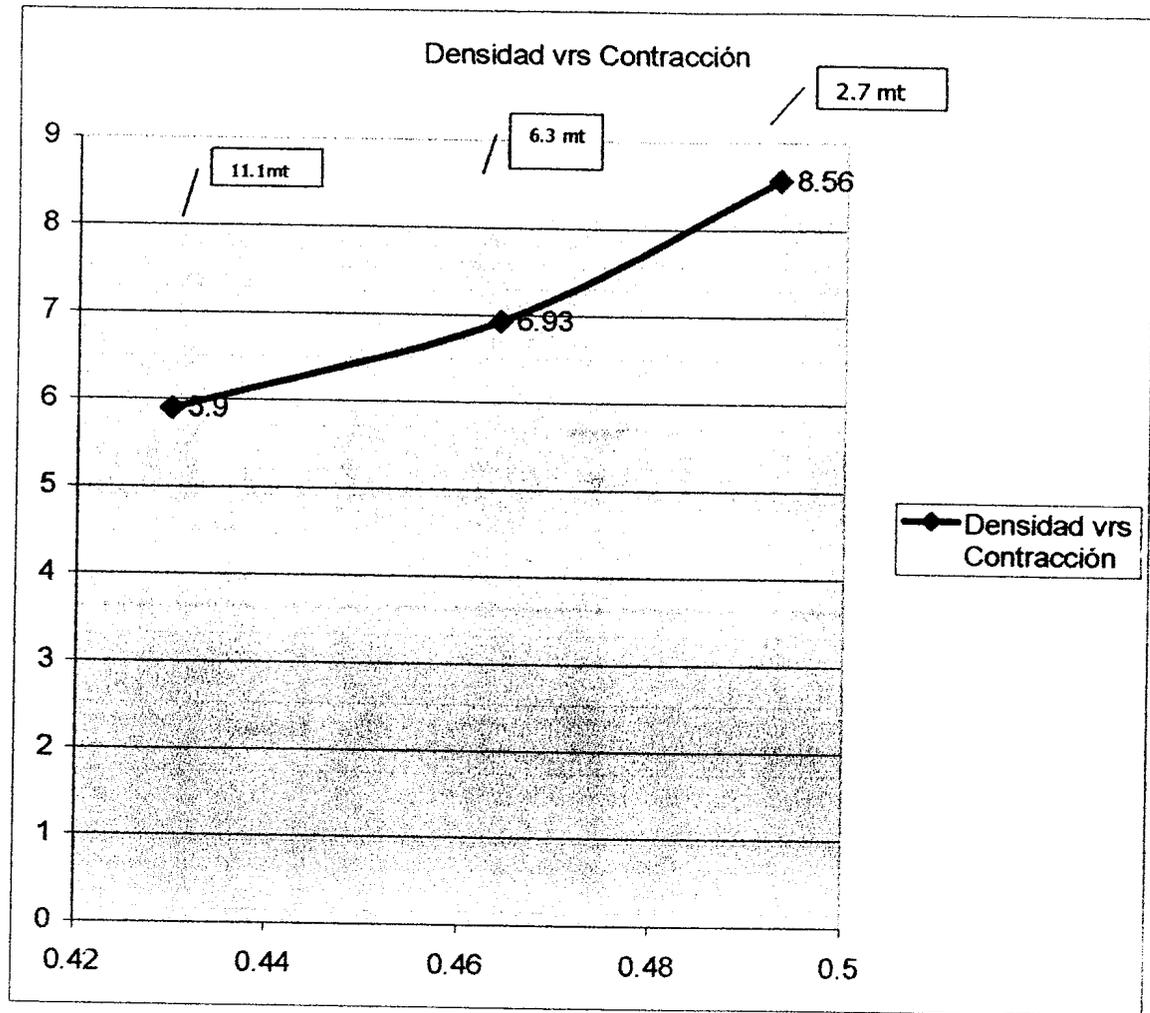


Gráfica 8. Variación de la longitud de fibras en la madera de *Pinus caribaea* var *Hondurensis*.  
Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003.

Tanto en el cuadro 13 como en la gráfica 8, existe una variación entre la longitud de fibras, los valores mostrados son el promedio de longitud por sección encontrados en la madera de los 5 árboles de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* muestreados, se observa claramente que a medida que nos acercamos a la periferia del árbol la longitud de la fibra es mayor y a medida que nos acercamos al centro la longitud de las fibras es menor, de igual forma la variación de la longitud de las fibras en la distribución altitudinal mostró que a medida que nos acercamos a la copa o ápice del árbol, la longitud de la fibra es menos y tendremos los valores más altos en la parte baja del árbol.

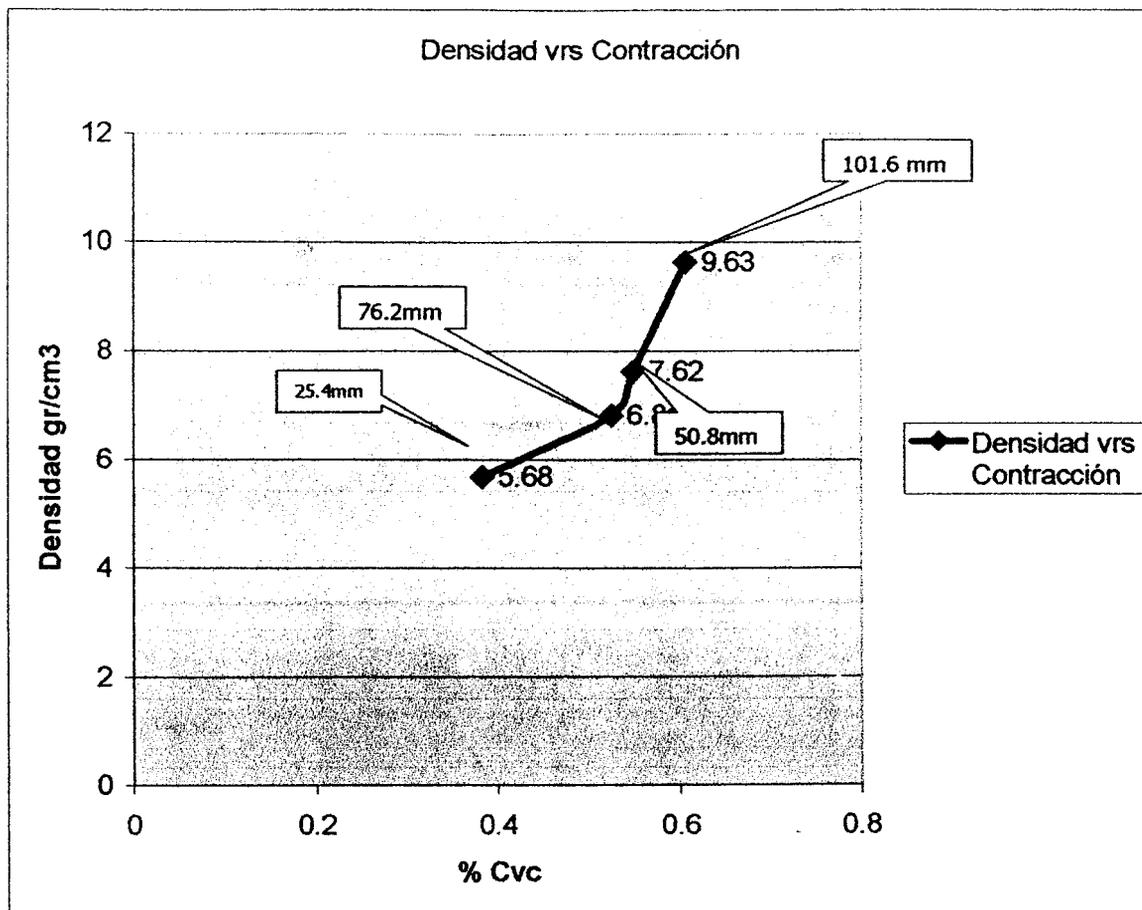
#### 6.2.4 Análisis de relación entre las propiedades físicas seleccionadas de la madera joven de *Pinus caribaea* var *Hondurensis*

Así como las propiedades físicas de la madera dependen de la anatomía de la misma, estas a su vez se ven íntimamente relacionadas entre ellas dependiendo una de otra, a continuación se muestra 4 graficas en las cuales se presenta la relación existente entre la densidad vrs contracción y la densidad vrs longitud de fibra



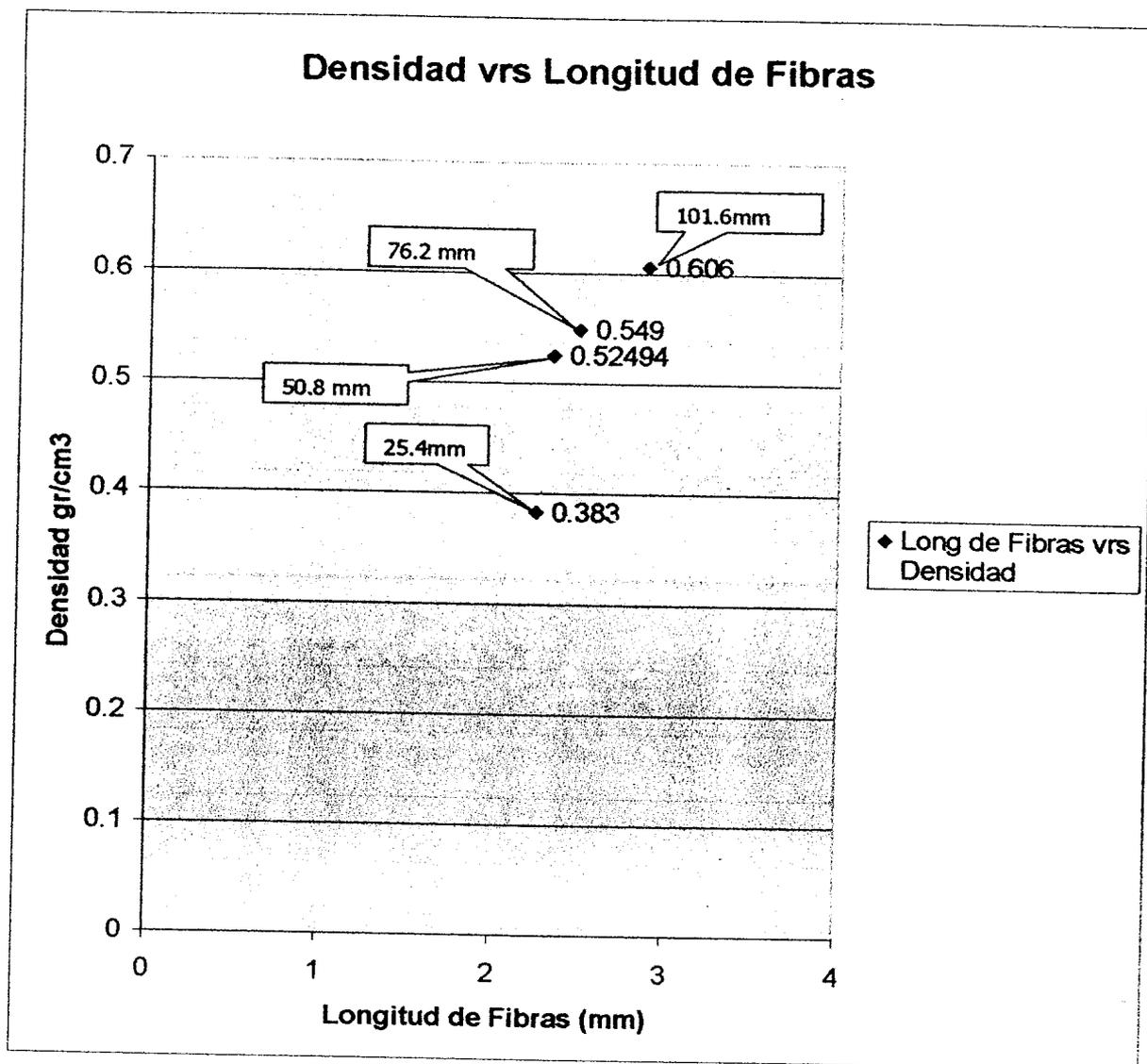
Grafica 9. Relación entre los valores de promedio general de la densidad y los valores de promedio general de la contracción en relación a su distribución altitudinal. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003.

Para la grafica 9 los valores tomados fueron los promedios generales de la densidad y contracción obtenidos de 3 secciones en su distribución altitudinal ( 2.7 mts, 6.3 mts y 11.1 mts) podemos observar claramente que a medida que los valores de la densidad aumentan de igual forma se comporta la contracción presentando una relación lineal de carácter positivo pero inversamente proporcional a la altitud, ya que a manera que aumenta la altura ambos valores tienden a disminuir. El coeficiente de correlación línea presento un valor de 0.053 indicando que existe poca correlación lineal pero no debe de tomarse como sino existiera correlación entre las propiedades de densidad y contracción.



Grafica 10. Relación entre los valores de promedio general de la densidad y los valores de promedio general de la contracción en relación a su distribución diamétrica. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

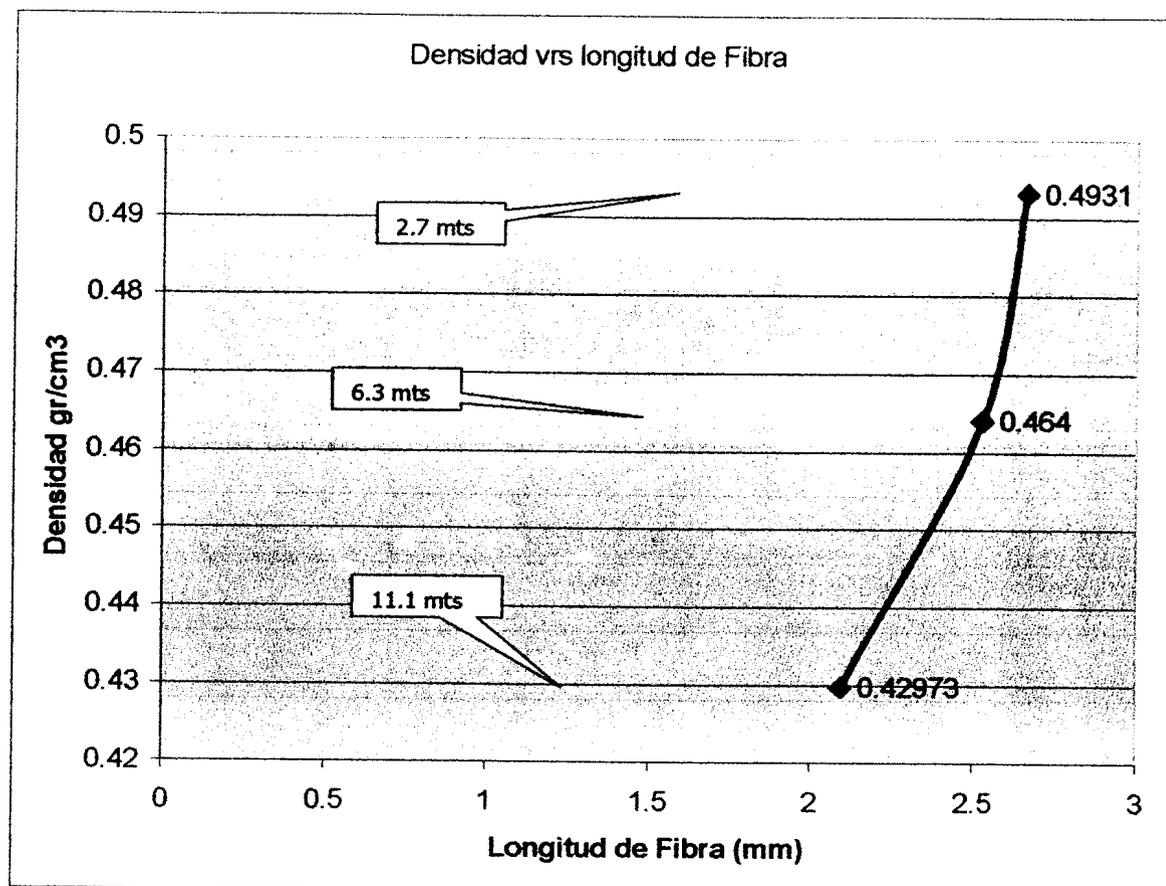
Para grafica 10 los valores tomados fueron los promedios generales de la densidad y la contracción en relación a su distribución diamétrica donde se puede observar claramente que es una relación lineal positiva, de tal manera que a medida que nos acercamos a la periferia del árbol tanto la densidad como la contracción aumentan. Los datos de la grafica fueron obtenidos de las cuatro secciones en estudio para la distribución en relación al diámetro ( 25.4mm, 50.8mm, 76.2mm, 101.6mm) . El valor de correlación línea obtenido fue de 0.44 indicando que existe una considerable relación línea entre la densidad y la contracción en relación a su distribución diamétrica



Grafica 11. Relación entre los valores de promedio general de la longitud de fibras y los valores de promedio general de la densidad en relación a su distribución diamétrica. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

En la grafica 11 podemos observar que a medida que la longitud de la fibra es mayor la densidad de la madera aumenta. Los datos de la grafica fueron obtenidos de las cuatro secciones en estudio para la distribución en relación al diámetro ( 25.4mm, 50.8mm, 76.2mm, 101.6mm). El coeficiente de

correlación lineal entre la longitud de las fibras y la densidad de la madera presento un valor alto siendo este de 0.78 indicando que existe una alta correlación lineal entre el valor de la densidad y la longitud de la fibra.



Grafica 12. Relación entre los valores de promedio general de la longitud de fibra y los valores de promedio general de la densidad en relación a su distribución altitudinal. Fuente: Santos Godoy, J.A. 2003

Para la grafica 12 los valores tomados fueron los promedios generales de la densidad y contracción obtenidos de 3 secciones en su distribución altitudinal ( 2.7 mts, 6.3 mts y 11.1 mts) podemos observar claramente que a medida que los valores de la longitud de las fibras aumentan de igual forma se comporta la densidad de la madera presentando una relación lineal de carácter positivo, pero inversamente proporcional a la distribución altitudinal ya que los valores mas altos están en la parte baja del árbol. El coeficiente de correlación lineal entre la densidad y la longitud de fibra en relación a la altitud presento un valor alto de 0.807 indicando que existe una alta correlación lineal de manera que entre mas larga sea la fibra mayor será la densidad.

## 7. CONCLUSIONES

- ❖ El Pino caribaea var. Hondurensis posee puntuaciones aeroladas, de tipo pinoide, sencillas y elipsoides, estas a su vez se distribuyen en mayor número en la superficie radial de las traqueidas y son más frecuentes en las extremidades sobrepuestas; los radios son uniseridos y algunos fusiformes que contienen canales resiníferos. El lumen del leño tardío está reducido en más de la mitad en comparación del lumen del leño temprano. Los canales resiníferos aparecen como poros en medio de la matriz de las traqueidas pudiendo observarlos tanto en el leño temprano como en el tardío aunque en mayor cantidad en el leño temprano. La gran cantidad de canales resiníferos nos da una idea de lo productivo que es esta especie en relación a la resina. La madera juvenil esta conformada por células grandes con una pared reducida a diferencia que la madera madura posee células pequeñas pero sus paredes son de mayor tamaño, esto influyendo directamente en la variación de la densidad dentro del árbol.
- ❖ La densidad promedio general encontrada fue de  $0.49 \text{ gr/cm}^3$ , con rango que va desde  $0.33 \text{ gr/cm}^3$  a  $0.64 \text{ gr/cm}^3$ . Se observó que existe variación entre árboles de la misma especie y dentro del mismo árbol mostrando en la sección transversal y longitudinal un patrón de variación continua, en relación al diámetro se observa un aumentando de la densidad de la médula hacia la corteza y en relación a la altura se observa una disminución de la densidad de la base hacia el ápice.
- ❖ La contracción volumétrica varía desde 4.45% a 12.86%, con un valor promedio general de 8.322% mostrando un patrón de variación similar al de la densidad. En relación a la contracción de la madera de Pinus caribaea var. Hondurensis analizada desde sus tres planos se observo que la contracción en el plano tangencial es mayor presentando valores hasta de 6.89% seguida por la contracción radial de 2.5% y por último la contracción longitudinal cuyo valor no excede de 0.1%. Analizando la relación existente entre la contracción tangencial dentro de la contracción radial se determino la estabilidad de la madera, observando que la mayor estabilidad se encuentra en la periferia del árbol disminuyendo a medida que se acerca a la medula del mismo, de igual manera en sentido altitudinal a manera que se acerca a la copa del árbol la estabilidad tiende a disminuir.
- ❖ En relación a la longitud de las fibras se observó una variación tanto entre de árboles como dentro del árbol, con valores que van desde 2.00mm a 3.25mm, y un valor promedio general de 2.45mm, pudiendo observar que en relación diamétrica las traqueidas mas largas se encuentran en la periferia y tienden a disminuir de largo hacia el centro del árbol, el patrón en relación altitudinal mostró que las traqueidas de menor tamaño están en la copa del árbol y las mas largas están en la parte baja del árbol.
- ❖ La relación entre la densidad y la contracción es de carácter positiva tanto en su distribución altitudinal como diamétrica, de igual forma se observó que cuando las fibras son mas largas la densidad es mayor
- ❖ La madera de Pinus caribaea var. Hondurensis es una madera dura y posee una leve tendencia a agrietarse. No se requiere demasiado cuidados al someterla a procesos de secado. Las fibras son largas llegando a mediar hasta 3.3 mm de largo, lo anterior descrito hace ideal la madera de esta especie para la mueblería y madera de construcción

## 8. RECOMENDACIONES

- \* Se sugiere realizar estudios más precisos en los cuales se divida y compare la madera juvenil y la madera madura dentro del árbol de *Pinus caribaea* var. *Hondurensis*.
- \* Analizar árboles de rodales naturales para poder comparar resultados y así analizar el efecto del manejo en la densidad, contracción y longitud de fibra.
- \* Desarrollar estudios de propiedades mecánicas para poder analizar rendimientos de la madera ya conociendo sus propiedades físicas y sus características anatómicas.
- \* Para el manejo y forma de cortar las trozas de esta madera se deberá tomar en cuenta los resultados obtenidos ya que dependiendo de los nichos de mercado se podrá separar la madera madura de la juvenil o la utilización de ambas, de igual forma buscar mercados alternativos los cuales demande las características que presenta dicha madera.
- \* Para la realización de un estudio similar se debe de tomar en cuenta que la metodología es muy minuciosa y el mal manejo de la madera en relación a su humedad puede dar resultados no adecuados.

**9. BIBLIOGRAFIA**

1. Aguilar, JM; Ponciano, I; Dary, JM. 1988. Las coníferas de Guatemala. Guatemala, USAC, Cuadernos de Investigación no. 12-87. 80 p.
2. Annual Book of Astm Standard, US. 1994. Designation D 143-83, standard methods of testing small clear specimens of timber. US. 152 p.
3. Arostegui V, A; González F, VR; Sato A, A. 1980-1981. Propiedades tecnológicas y usos de la madera de 40 especies del bosque nacional Alexander Von Humbolt. Revista Forestal del Perú 10(1-2):3-82.
4. Chargoy Espinola, A. 1967. Determinación de las propiedades físico mecánicas de la madera de *Pinus pseudostrobus*. Tesis Ing. Construc. México, Escuela Militar de Ingenieros. 68 - 72 p.
5. Cruz, JR De la. 1982. Clasificación de zonas de vida Guatemala a nivel de reconocimiento. Guatemala, Instituto Nacional Forestal. 42 p.
6. Esaú, K. 1960. Anatomía de la planta. US, John Wiley. 376 p.
7. Esaú, K. 1960. Anatomy of seeds plantas. New York, US, John Wiley. 376 p.
8. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1967. Mapa geológico de la república de Guatemala, hoja Chimoxán, no. 2262-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
9. IGN (Instituto Geográfico Nacional, GT). 1970. Mapa geológico de la república de Guatemala, hoja Chimoxán, no. G2262-I. Guatemala. Esc. 1:50,000. Color.
10. Jane, FW. 1955. The structure of wood. 2 ed. London, Wilson, K; White, JB; Adams & Charles Black. 492 p.
11. Larios, SP; Huertas, CJ; Ramos, AC. 1979. Determinación de índices de calidad de pulpa de papel en Zoquiapan, México. Revista Chapingo. 68p.
12. León Gamboa, A. 1994. Propiedades físicas de la madera. Chile, Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Departamento de Tecnología de la Madera.
13. México, Limusa. 545 p.
14. Morataya, AR. 1993. Anatomía, propiedades físicas y algunos usos sugeridos de la madera de seis especies forestales frecuentes en el municipio de La Libertad, Petén, Guatemala. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 69 p.
15. Obiols Del Cid, R. 1978. Mapa climatológico preliminar de la república de Guatemala, según el sistema Thornthwaite. Guatemala, Instituto Geográfico Nacional. Esc. 1:1.000,000. Color.

16. Ordóñez Aguilar, W. 1981. Producción y conservación de tres especies de *Pinus* importantes en Guatemala (*Pinus oocarpa* Shiede, *Pinus maximinoi* H.E y *Pinus caribea* var. *Hondurensis* Bary Golf). Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC. 82 p.
17. Panshin, AJ; De Zew, C; Brown, HP. Textbook of wood technology. 4 ed. NY, US, McGraw-Hill. México. XX p.
18. Salomon, EP. 1992. Biología. Trad. Laura Mayela Zertuche Rodríguez. 2 ed. México, McGraw-Hill. p.
19. Sepúlveda M, M; Melos, R. 1971. Propiedades físicas de la madera de *Pino radiata* de 52 años. México, Universidad de Concepción, Facultad de Ciencias Forestales. p. 45 - 50.
20. Siau, JF. 1971. Flow in wood. Syracuse, US, Syracuse University Press. 45-48 p.
21. Simmons, Ch; Tarano, J; Pinto, J. 1959. Clasificación de reconocimiento de los suelos de la república de Guatemala. Trad. por Pedro Tirado Sulsona. Guatemala, José de Pineda Ibarra. 1000 p.
22. Yáñez Marquez, O; Caballero, DM. 1991. Variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *Chiapensis* MTZ de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueidas de la madera. Revista Chapingo, 15(75): 35-45p
23. Zobel, B; Talbert, J. 1998. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. México, Limusa. 545 p.



Dr. Rolando Barrios

**10. APENDICES**

## Apéndice 1

**Cuadro 14.** Resumen de los valores promedio de densidades de los 5 árboles muestra de Pinus caribea var Hondurensis

Propiedad Evaluada Densidad  
 Numero de árboles 5 unidades  
 Especie Pinus caribea var Hondurensis  
 Edad 11 años

## Árbol. I

Altura	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio	Valor Max	0.6159473
30cm	0.47274633	0.5728381 2	0.61594732	0.5995740 6	0.5652764 6	Valor Min	0.3500151 9
1.5	0.4445061	0.5524617 3	0.59636979		0.5311125 4	Promedio	0.4877787 5
2.7	0.37370242	0.5288769 3	0.55819733		0.4869255 6	Var. Altitudinal	0.0014016 7
3.9	0.36363636	0.5124764 3	0.54891799		0.4750102 6	Var. Diametrica	0.0093290 1
5.1	0.3577859	0.5107926	0.5414799		0.4700194 7		
6.3	0.35229885	0.5077040 2	0.5398746		0.4666258 2		
7.5	0.35190616	0.5223414 5	0.53308447		0.4691106 9		
8.7	0.35106383	0.5201478	0.53048141		0.4672310 1		
9.9	0.35055096	0.5247955	0.5300417		0.4684627 2		
11.1	0.35001519	0.5187471 9			0.4343811 9		
<b>Promedio</b>	<b>0.37682121</b>	<b>0.5271181 8</b>	<b>0.554932723</b>	<b>0.5995740 6</b>			
<b>Árbol.2.</b>							
Altura	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio		
30cm	0.49213517	0.5425689 7	0.57897845	0.5846541 5	0.5495841 8	Valor Máximo	0.5846541 5
1.5	0.43567889	0.5420122 3	0.56897845		0.5155565 2	Valor Mínimo	0.350001
2.7	0.39458975	0.5145788 9	0.54567812		0.4849489 2	Promedio	0.4736595 7
3.9	0.36251478	0.5012452 5	0.53124598		0.465002	Var. Altitudinal	0.0028058 2
5.1	0.3601257	0.5098653 2	0.52697841		0.4656564 8	Var. Diametrica	0.0074761 4
6.3	0.3594266	0.5001235	0.513312455		0.4576208		

		4			7		
7.5	0.3556842	0.4978586 5	0.50124578		0.4515962 1		
8.7	0.3523686	0.4875451 3	0.5001581		0.4466906 1		
9.9	0.3516684	0.5012469 9			0.4264577		
11.1	0.350001				0.350001		
<b>Promedio</b>	<b>0.38141931</b>	<b>0.5107827 7</b>	<b>0.533321968</b>	<b>0.5846541 5</b>			
<b>Árbol.3.</b>							
<b>Altura</b>	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>	<b>Dist.3</b>	<b>Promedio</b>		
30cm	0.48125789	0.5875112 3	0.624578985	0.6346856	0.5820084 3	<b>Valor Máximo</b>	0.6346856
1.5	0.46887469	0.5744687 4	0.601458746		0.5482673 9	<b>Valor Mínimo</b>	0.3512465 1
2.7	0.39458716	0.5648795 1	0.57895623		0.5128076 3	<b>Promedio</b>	0.4907258 9
3.9	0.38456522	0.5321549 8	0.55241684		0.4897123 5	<b>Var. Altitudinal</b>	0.0032828 7
5.1	0.36457825	0.5215684 6	0.550005468		0.4787173 9	<b>Var. Diametrica</b>	0.0103662 4
6.3	0.35621555	0.5211488 5	0.521654256		0.4663395 5		
7.5	0.35254652	0.5154652 2	0.51116216		0.4597246 3		
8.7	0.35182121	0.4952152 1	0.510015666		0.4523507		
9.9	0.35124651	0.4843215 5	0.462168432		0.4325788 3		
11.1	0.38152156				0.3815215 6		
<b>Promedio</b>	<b>0.38872146</b>	<b>0.5329704 2</b>	<b>0.545824087</b>	<b>0.6346856</b>			
<b>Árbol.4</b>							
<b>Altura</b>	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>	<b>Dist.3</b>	<b>Promedio</b>		
30cm	0.47272589	0.5786116 5	0.614546582	0.5933218 1	0.5648014 8	<b>Valor Máximo</b>	0.6145465 8
1.5	0.44321566	0.5532156 1	0.59215462		0.5295286 3	<b>Valor Mínimo</b>	0.3351165 5
2.7	0.37121652	0.5216514 8	0.552154197		0.4816740 7	<b>Promedio</b>	0.4824154 9
3.9	0.36116518	0.5214516 2	0.54821658		0.4769444 6	<b>Var. Altitudinal</b>	0.0017580 1

5.1	0.35954851	0.5132189 4	0.542185135		0.4716508 6	Var.Diametrica	0.0089752 3
6.3	0.35156519	0.5014569 3	0.53165485		0.4615589 9		
7.5	0.35146219	0.5000015 6	0.53001586		0.4604932		
8.7	0.35123216	0.5000056 6	0.529218232		0.4601520 2		
9.9	0.35015624	0.4952186 2	0.51321896		0.4528646 1		
11.1	0.33511655	0.4935418 6			0.4143292 1		
<b>Promedio</b>	<b>0.37474041</b>	<b>0.5178373 9</b>	<b>0.550373891</b>	<b>0.5933218 1</b>			
<b>Árbol.5</b>							
<b>Altura</b>	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>	<b>Dist.3</b>	<b>Promedio</b>		
30cm	0.49654863	0.5932151 6	0.61354832	0.6216516 9	0.5812409 5	Valor Máximo	0.6216516 9
1.5	0.46321516	0.5832159 3	0.596215198		0.5475487 6	Valor Mínimo	0.3500156 2
2.7	0.42132156	0.5621651 6	0.592216519		0.5252344 1	Valor Promedio	0.5017419 9
3.9	0.39132186	0.5523215 6	0.562151953		0.5019317 9	Var.Altitudinal	0.0037716 5
5.1	0.37215465	0.5321651 2	0.560001652		0.4881071 4	Var.Diametrica	0.0093823 9
6.3	0.37115165	0.5299213 5	0.552165182		0.4844127 3		
7.5	0.36999912	0.5191321 5	0.549132185		0.4794211 5		
8.7	0.36005165	0.5100051 8	0.540002516		0.4700197 8		
9.9	0.35213219	0.5032135 2	0.530165185		0.4618369 6		
11.1	0.35001562				0.3500156 2		
<b>Promedio</b>	<b>0.39479121</b>	<b>0.5428172 4</b>	<b>0.566177634</b>	<b>0.6216516 9</b>			

### Apéndice 2

**Cuadro 14** Promedio general de las densidades de los 5 árboles muestra de Pinus caribea var. Hondurensis.

		Promedio General				
Altura	Centro (1pulg)	Dist.1(2pulg )	Dist.2(3pulg )	Dist.(4Pulg )	Promedio	

30cm	0.48308278	0.57494903	0.609519931	0.60677746	0.5685823	Valor Máximo	0.60951993
1.5mts	0.4510981	0.56107485	0.591035361		0.5344027	Valor Mínimo	0.35115086
2.7mts	0.39108348	0.53843039	0.565440479		0.4983181	Promedio	0.48784797
3.9mts	0.37264068	0.52392997	0.548589869		0.4817201	Var. Altitudinal	
5.1mts	0.3628386	0.51752209	0.544130113		0.4748302	Var. Diametrica	
6.3mts	0.35813157	0.51207094	0.531732269		0.4673115		
7.5mts	0.35631964	0.51095981	0.524928091		0.4640691		
8.7mts	0.35330749	0.5025838	0.521975185		0.4592888		
9.9mts	0.35115086	0.50175924	0.508898569		0.4539362		
11.1mts	0.35333398	0.50614453			0.4297392		
Promedio	0.38329872	0.52494246	0.549583318	0.60677746			

## Apéndice 3

Cuadro 15. Cuadro Resumen de volares promedio de la contracción en los 5 árboles de pinus caribea var. Hondurensis

Propiedad evaluada		Contracción			
Numero de árboles:		5 Unidades			
Especie	Pinus caribea var Hondurensis				
Edad	11 años				
<b>ÁRBOL. I</b>					
Altura.1	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial	2.816518	2.944451	3.018888	4.65718	3.35925925
Tangencial	4.6432158	5.5165185	6.19756	6.7936546	5.78773723
Longitudinal	0.1465181	0.365158	0.556156	0.694321	0.44053828
% Cvc	7.74815038	9.02004772	10.0119998	12.5432507	9.83086213
Altura.2	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial	2.3151848	2.5651816	2.6431546	2.972156	2.62391925

Tangencial		4.1913218	5.0913215	5.2816515	5.6913215	<b>5.06390408</b>
Longitudinal		0.0461515	0.1516215	0.254546	0.5251651	<b>0.24437103</b>
% Cvc		<b>6.65274258</b>	<b>7.95053317</b>	<b>8.33948194</b>	<b>9.40418346</b>	<b>8.08673529</b>
Altura.3	Centro		Dist.1	Dist.2	Promedio	
Radial		1.743151	1.971321	2.46512185	<b>2.05986462</b>	
Tangencial		4.1951315	5.0166218	5.082152	<b>4.7646351</b>	
Longitudinal		0.0455165	0.145165	0.355454	<b>0.18204517</b>	
		<b>6.05966266</b>	<b>7.24228913</b>	<b>8.05528149</b>	<b>7.11907776</b>	
Prom. %Cvc						<b>8.34555839</b>

		<b>ÁRBOL. II</b>				
Altura.1	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio	
Radial		2.01546545	2.54984615	3.0001549	3.98511651	<b>2.88764575</b>
Tangencial		3.9856515	4.94518465	5.75165515	5.99215155	<b>5.16866071</b>
Longitudinal		0.14215156	0.25165656	0.45464566	0.55132155	<b>0.34994383</b>
%Cvc		<b>6.23224281</b>	<b>7.89196102</b>	<b>9.41958853</b>	<b>10.8237072</b>	<b>8.59187489</b>
Altura.2	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio	
Radial		1.99851326	2.00156666	2.25165166	2.96565466	<b>2.30434656</b>
Tangencial		3.99982156	4.5846546	4.96516567	5.51213566	<b>4.76544437</b>
Longitudinal		0.05321565	0.10321565	0.15321516	0.21565666	<b>0.13132578</b>
%Cvc		<b>6.13472203</b>	<b>6.78809456</b>	<b>7.49305927</b>	<b>8.87555334</b>	<b>7.3228573</b>
Altura.3	Centro	Dist.1	Dist.2	Promedio		
Radial		1.501616	1.7516216	2.0516566	<b>1.76829807</b>	
Tangencial		3.75165166	4.0165169	4.75516516	<b>4.17444457</b>	
Longitudinal		0.0465464	0.09162165	0.12354655	<b>0.0872382</b>	
%Cvc		<b>5.35862089</b>	<b>5.93546365</b>	<b>7.03645809</b>	<b>6.11018088</b>	
Prom. %Cvc						<b>7.34163769</b>

		<b>ÁRBOL. III</b>				
Altura.1	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio	
Radial		2.95132156	3.04516217	3.11816322	4.75163217	<b>3.46656978</b>
Tangencial		4.74612322	5.61165166	6.29165217	6.89165167	<b>5.88526968</b>
Longitudinal		0.24665566	0.46216517	0.65121516	0.79513216	<b>0.53879204</b>
%Cvc		<b>8.10350548</b>	<b>9.33066143</b>	<b>10.3197702</b>	<b>12.8610652</b>	<b>10.1537506</b>

Altura.2		Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial		2.41654654	2.66546546	2.74516517	3.07162166	2.72469971
Tangencial		3.29561652	4.19163217	4.38516522	4.79231566	4.16618239
Longitudinal		0.14654666	0.25132166	0.35165166	0.62651665	0.34400916
%Cvc		5.94683752	7.23765996	7.62785931	8.6878469	7.37505092
<b>Prom%Cvc 7.96933784</b>						
Altura.3		Centro	Dist.1	Dist.2	Promedio	
Radial		1.84516216	2.07651666	2.56132162	2.16100015	
Tangencial		3.29132156	4.15321565	4.18321621	3.87591781	
Longitudinal		0.14005165	0.24121652	0.34532165	0.24219661	
%Cvc		5.34454437	6.57242622	7.22066545	6.37921201	

		ÁRBOL. IV				
Altura.1		Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial		2.60156544	2.74216512	2.94213217	4.34652621	3.15809723
Tangencial		3.44613217	4.31216566	5.00132157	5.59132156	4.58773524
Longitudinal		0.12216517	0.26132152	0.46216512	0.52132157	0.34174334
% Cvc		6.26701386	7.45264248	8.59015627	10.7552727	8.26627133
Altura.2		Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial		2.21565165	2.25651622	2.46543216	2.72132162	2.41473041
Tangencial		2.99921322	3.82132156	4.08321322	4.45213216	3.83897004
Longitudinal		0.04621617	0.12321654	0.25465465	0.3654652	0.19738814
%Cvc		1053299.74	1062948.78	1069209.02	1076867.35	
		5.32997397	6.29487821	6.92090166	7.68673508	6.55812223
						Prom:%Cvc 6.80013838
Altura.3		Centro	Dist.1	Dist.2	Promedio	
Radial		1.54651322	1.72165165	2.26121566	1.84312684	
Tangencial		2.82165167	3.80216547	3.98521562	3.53634425	
Longitudinal		0.04551633	0.12121153	0.20212157	0.12294981	
		1044593.27	1057172.64	1065514.75		
		4.45932651	5.71726354	6.55147469	5.57602158	
<b>ÁRBOL.V</b>						
Altura.1		Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial		3.0115651	3.10215654	3.21216549	4.8513215	3.54430216
Tangencial		3.84216517	4.71654655	5.39232156	5.95213216	4.97579136
Longitudinal		0.14532132	0.32132156	0.42132153	0.54213215	0.35752414
%Cvc		1071248.89	1083119.33	1092360.01	1116944.77	
		7.12488897	8.31193262	9.2360012	11.6944773	9.09182503

Altura.2	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	Promedio
Radial	2.51321322	2.76123122	2.84321216	3.01213215	2.78244719
Tangencial	3.49132157	4.29532132	4.48321217	4.89321562	4.29076767
Longitudinal	0.1216545	0.15132122	0.15456216	0.25132125	0.16971478
	1062213.45	1073373.35	1076199.75	1083242.97	
%Cvc	<b>6.22134517</b>	<b>7.33733504</b>	<b>7.61997461</b>	<b>8.32429739</b>	7.37573805
Altura.3	Centro	Dist.1	Dist.2	Promedio	
Radial	1.95465456	2.01516546	2.66465465	2.21149156	
Tangencial	3.39546545	4.24654221	4.29862321	3.98021029	
Longitudinal	0.04546547	0.08212157	0.15213216	0.09323973	
	1054644.18	1064346.17	1072407.21		
%Cvc	<b>5.46441772</b>	<b>6.43461658</b>	<b>7.24072113</b>	6.37991848	

Prom%Cvc 6.87782826

## Apéndice 4

Cuadro 16 Longitudes promedio obtenidas de los 5 árboles de Pinus caribaea var Hondurensis.

Longitud de fibras de la madera de Pinus caribaea var Hondurensis					
Valores promedio general (mm)					
Árbol.1	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	
Altura 1	2.15	2.45	2.5	2.98	2.52
Altura 2	2.2	2.3	2.6	2.7	2.45
Altura 3	2	2.25	2.52		2.25666667
Promedio	2.11666667	2.33333333	2.54	2.98	
Árbol.2	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	
Altura 1	2.25	2.46	2.54	2.96	2.5525
Altura 2	2.15	2.26	2.5	2.6	2.3775
Altura 3	2	2.02	2		2.00666667
	2.13333333	2.24666667	2.34666667	2.78	
Árbol.3	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	
Altura 1	2.35	2.35	2.5	2.9	2.525
Altura 2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.45
Altura 3	2.04	2	2.1		2.04666667
	2.23	2.25	2.36666667	2.75	
Árbol.4	Centro	Dist.1	Dist.2	Dist.3	
Altura 1	2.56	2.68	2.95	3.25	2.86
Altura 2	2.45	2.6	2.75		2.6

Altura 3	2.04	2.1	2.08		2.07333333
	2.35	2.46	2.59333333	3.25	
<b>Árbol. 5</b>					
	<b>Centro</b>	<b>Dist.1</b>	<b>Dist.2</b>	<b>Dist.3</b>	
Altura 1	2.65	2.56	2.95	3.25	2.8525
Altura 2	2.6	2.68	2.75	2.9	2.7325
Altura 3	2.04	2.1	2.15		2.09666667
	2.43	2.44666667	2.61666667	3.075	

## Apéndice 5

Cuadro 17 Tabla de clasificación de la madera según densidad aparente Markwardt y Heck, citado por Morataya M (12).

Grupo Número	Rango	Clasificación
1	Menor de 0.20	Extremadamente Livianas
2	De 0.20 a 0.25	Excesivamente Livianas
3	De 0.25 a 0.30	Muy Livianas
4	De 0.30 a 0.36	Livianas
5	De 0.36 a 0.42	Moderadamente Livianas
6	De 0.42 a 0.50	Moderadamente Pesadas
7	De 0.50 a 0.60	Pesadas
8	De 0.60 a 0.72	Muy Pesadas
9	De 0.72 a 0.86	Excesivamente Pesadas
10	Mayores de 0.86	Extremadamente Pesadas

## Apéndice 6

Cuadro 18. Tabla de clasificación de la madera según la relación de contracción tangencial y radial (Ct/CR) (3).

Grupo Número	Rango	Clasificación	Estabilidad
1	Menor de 1.5	Muy Baja	Muy Estable ( no se agrieta, buen secado)
2	De 1.51 a 2	Baja	Estable ( Muy pocas grietas, muy leve atención al secado)
3	De 2.1 a 2.5	Media	Moderadamente estable ( Pocas grietas, leve atención al secado)
4	De 2.51 a 3	Alta	Inestable ( se agrieta. Atención al secado)
5	Mayores de 3	Muy Alta	Muy inestable ( Fuerte grietas, secado cuidadoso)

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE AGRONOMIA  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES  
AGRONOMICAS

REF. Sem. 28/2004

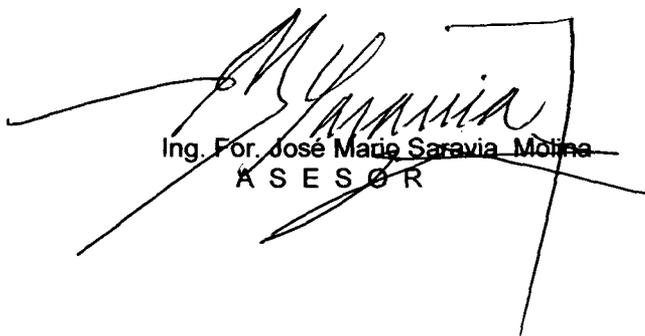
LA TESIS TITULADA: "ANATOMIA Y VARIACIÓN DE PROPIEDADES FISICAS SELECCIONADAS EN LA MADERA JOVEN DE PINO CARIBE (*Pinus caribaea* var. *Hondurensis*) PRODUCIDA EN EL MUNICIPIO DEL ESTOR, DEPARTAMENTO DE IZABAL."

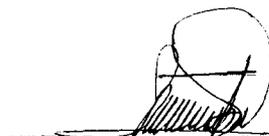
DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE: JOSE ARTURO SANTOS GODOY

CARNE: 9610421

HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES: Ing. Agr. Edwin Enrique Cano Morales  
Ing. Agr. José Miguel Leiva Perez  
Ing. Agr. Luis Rodolfo Montes Osorio

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. For. José María Saravia Molina  
ASESOR

  
Dr. David Monterroso Salvatierra  
DIRECTOR DEL IIA

IMPRIMASE

  
Dr. Ariel Abderramán Ortiz López  
DECANO



c.c. Archivo  
IIA  
Control académico

APARTADO POSTAL 1545 § 01091 GUATEMALA, C.A.  
TEL/FAX (502) 476-9794  
e-mail: [lusac.edu.gt](mailto:lusac.edu.gt) & <http://www.usac.edu.gt/facultades/agronomfa.htm>

PROPIEDAD DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
Biblioteca Central