

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA  
" ANTONIO NARRO "

DIVISION DE AGRONOMIA



Variación de dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

POR:

REINALDA IBARRA GARIBAY

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Agrónomo Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 1999.

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación de dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila.

POR:

REINALDA IBARRA GARIBAY

TESIS

Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO FORESTAL

APROBADA:

---

Presidente del Jurado

M.C. Salvador Valencia Manzo

---

Coordinador de la División de Agronomía

M.C. Mariano Flores Dávila

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Febrero de 1999

UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"  
DIVISION DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación de dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazana, Arteaga, Coahuila.

Por:

Reinalda Ibarra Garibay

TESIS

Que se somete a consideración del H. Comité de Tesis como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRONOMO FORESTAL

APROBADA

Asesor principal

\_\_\_\_\_  
M.C. Salvador Valencia Manzo

Primer Sinodal

\_\_\_\_\_  
Ing. Celestino Flores López

Segundo Sinodal

\_\_\_\_\_  
Dr. Jorge S. Marroquín de la Fuente

Buenavista, Saltillo, Coahuila México

Febrero de 1999

El presente estudio forma parte del Proyecto de Investigación: 02.03.0906.2600 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, denominado: "Estudio de la variación en características de la madera de coníferas de la porción Norte de la Sierra Madre Oriental".

## DEDICATORIA

Especialmente a mis padres:

Constantino Ibarra Ruiz

Rufina Garibay García

Dedico este trabajo de tesis a mis padres por haberme dado la oportunidad de estudiar, ya que pude realizar mi meta como profesionista, gracias a ellos por su apoyo y comprensión y la confianza que depositaron en mi.

A mis hermanos:

Elvira, Lucina, Catalina, Raymundo, Sergio, Norma L., Fabiola Y., y Damaso.

A quienes quiero con mucho cariño.

A mis Abuelos:

Secundino Garibay Romero

Felipe Ibarra (+)

Cristina García A. (+)

María Ruiz (+)

A mis tíos:

Benito Garibay, Elena Garibay, Carmela G. (+), Rafael Ibarra.

Por su amistad y apoyo que me han brindaron.

## AGRADECIMIENTO

A dios, gracias por darme fuerza, paciencia para seguir adelante en la vida.

A mi “ALMA MATER” la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” que me abrió sus puertas y que me dio la oportunidad para continuar con mi superación profesional.

Al Departamento Forestal agradezco por la formación que recibí de sus profesores.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo con profundo respecto le agradezco ampliamente por su valiosa asesoría en el desarrollo del presente trabajo, ya que sin él no hubiera sido posible, además por brindarme su amistad y su apoyo en todo momento que necesite.

Al Ing. Celestino Flores López por sus comentarios y aportaciones para mejorar el contenido del presente trabajo.

Al Dr. Jorge S. Marroquín de la Fuente por la disponibilidad de su tiempo en la revisión y corrección del presente trabajo.

Al Departamento de Botánica, en especial a la Lab. Angélica Martínez Ortiz por su apoyo incondicional en la realización del trabajo del laboratorio.

A la Sra. Ma. Elena Morales Banda por haberme dado su amistad, apoyo, consejos y bendiciones en todo momento que necesite su ayuda, mis más sinceros agradecimiento.

Al Sr. Toñito también por su apoyo que brindó todo este tiempo.

A mis compañeros de generación LXXXIV por los momentos que compartimos juntos durante la carrera profesional.

A mis compañeros y amigos. Por su amistad y apoyo que me ofrecieron durante mi estancia en la Universidad y por compartir momentos agradables juntos en especial a Ma. Cristina, Zulma , Norelia, Jovita, Rosa María, Itzé, Rocío, Esmeralda, Ricardo Santos, Francisco Manuel, Carmen, Sandra M., Ricardo Rodríguez, Salvador, Raúl.

A todas aquellas personas, que de alguna manera me tendieron la mano durante mi formación profesional.

## INDICE DE CONTENIDO

	Página
INDICE DE CUADROS .....	iii
INDICE DE FIGURA .....	v
RESUMEN .....	vii
I INTRODUCCION .....	1
1.1 Objetivos e hipótesis .....	2
II REVISION DE LITERATURA.....	5
2.1 <i>Pinus rudis</i> Endl. ....	5
2.1.1 Distribución y ecología .....	5
2.1.2 Descripción botánica .....	6
2.1.3 Importancia económica .....	7
2.1.4 Características de la madera .....	8
2.2 Variación natural .....	9
2.2.1 Variación morfológica .....	10
2.2.2 Niveles de variación .....	11
2.3 Madera de coníferas .....	14
2.3.1 Traqueidas .....	15
2.3.2 Importancia de las dimensiones transversales de traqueidas .....	16
2.3.3 Indices de calidad de la madera .....	17
2.4 Disociación de la madera .....	17
2.5.Muestreo .....	20
III MATERIALES Y METODOS .....	22
3.1 Descripción del área de estudio .....	22

3.2 Trabajo de campo .....	23
3.3 Trabajo de laboratorio .....	24
3.3.1 Obtención de anillos de la madera tardía .....	27
3.3.2 Disociación del material .....	27
3.3.3 Características medidas .....	28
3.4 Muestreo y análisis estadístico .....	29
IV RESULTADOS Y DISCUSION .....	33
4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión .....	33
4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza .....	39
4.3 Variación de las dimensiones transversales de traqueidas dentro del árbol. ....	43
4.3.1 Variación en el eje transversal. ....	49
4.3.2 Variación en el eje longitudinal .....	52
4.4 Correlación entre las dimensiones transversales de traqueidas, densidad de la madera y el largo de traqueidas. ....	55
4.4.1 Correlaciones de las variables en la sección transversal .....	58
4.4.2 Correlaciones de las variables en la sección longitudinal ... ..	69
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	61
VI LITERATURA CITADA .....	64
APENDICE .....	68

## INDICE DE CUADROS

1. Componente de los cuadrados medios esperados del análisis de varianza para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 31
2. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 33
3. Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas de algunas especies de latifoliadas y coníferas de acuerdo con Ortega *et al.* .... 35
4. Índices de calidad de madera, para diversas especies de árboles forestales de acuerdo con las dimensiones de traqueidas ..... 37
5. Análisis de varianza y componentes de varianza para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 40
6. Valores de correlación general entre las variables densidad de la madera longitud de traqueida, ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared celular dentro y entre árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 56

7. Valores de Correlación en la sección transversal de las variables densidad de la madera, ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular dentro y entre árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 59
  
8. Valores de Correlación en la sección longitudinal de las variables densidad de la madera, ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular de *Pinus rudis* , Sierra las Alazanas, Areteaga, Coah. .... 60

## INDICE DE FIGURAS

1. Representación esquemática del seccionado del fuste del árbol y extracción de rodajas (Adaptado de Vaca,1992). ..... 25
2. Representación esquemática de corte de rodaja, extracción de faja y seccionado de faja de madera (Adaptado de Vaca, 1992). ..... 26
3. Representación esquemática de la variación del ancho de traqueidas dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 45
4. Representación esquemática de la variación del ancho de lumen dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 47
5. Representación esquemática de la variación de grosor de la pared celular dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 48
6. Comportamiento de las dimensiones transversales de traqueidas a través del la sección transversal de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. .... 53

7. Comportamiento de las dimensiones transversales de traqueidas a través del  
eje longitudinal en árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga,  
Coah. .... 55

## RESUMEN

El presente trabajo se realizó para conocer el nivel y la magnitud de la variación de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía entre y dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

En este estudio se analizaron muestras de madera de cinco árboles; de cada árbol se obtuvieron rodajas a cada 2.54 m a partir de 0.30 m del nivel del suelo hasta 1 m antes del ápice; de cada rodaja se obtuvo una faja de madera de 5 cm de ancho y de grosor igual al de la rodaja, que atravesara la médula; cada faja de madera se seccionó cada 5 cm a partir de la médula hacia la corteza; de cada sección se obtuvo la madera tardía de un anillo de la parte media y ésta se disoció para permitir la separación de las traqueidas. De cada sección se midieron 40 traqueidas en sus dimensiones transversales (ancho de traqueidas, ancho de lumen, grosor de la pared). Se obtuvieron valores promedio y de dispersión de las variables en estudio, con los cuales se estimaron diversos índices de calidad de pulpa para papel, asimismo se realizaron análisis de varianza y de componentes de varianza,

para estimar el efecto y la contribución de cada fuente de variación, empleando el modelo de efectos aleatorios con clasificación jerárquica. También se realizaron correlaciones de Pearson entre las diferentes variables.

De las dimensiones transversales de traqueidas se obtuvieron valores promedios de 36, 25.5 y 5.3 micras, para el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared, respectivamente; el coeficiente de variación fue de 19.2, 25.5 y 20%, para las tres variables, respectivamente. Los valores estimados de los índices de calidad de pulpa para papel indicaron que se trató de traqueidas con muy buena calidad, en función del coeficiente de flexibilidad, coeficiente de rigidez, índice de esbeltez y relación de Runkel. El análisis de varianza para las tres características en estudio, mostró diferencias altamente significativas para las tres fuentes de variación (árboles, altura de rodaja dentro de árboles y sección dentro de altura de rodaja). En la variable ancho de traqueida el 54.33% de la variación total se le atribuyó al error o fuente no considerada en el modelo, el 27.7% al efecto de las secciones dentro de cada altura del fuste y el 22.9% al efecto de árboles (la altura de rodajas no contribuyó con ningún porcentaje).

Para el ancho de lumen el 70.05% de la variación total fue atribuible al error, el 20.45% al efecto de las secciones dentro de cada altura del fuste, el 9.51% al efecto de árboles (la altura de rodaja dentro de árboles no contribuyó con ningún porcentaje).

Para el grosor de la pared el 62.37% de la variación total se atribuyó al error o fuente no considerada en el modelo, el 12.54% al efecto de las secciones dentro de altura del fuste, el 19.86% al efecto de árboles y el 5.23% debido al efecto de altura de rodajas dentro de árboles. En cuanto al patrón de variación en la sección transversal, se encontró que el ancho de traqueidas y el ancho de lumen aumentan en las primeras secciones de la médula hacia la corteza y en la última sección disminuyen ligeramente, mientras que el grosor de la pared, aumenta de la médula hacia la corteza.

En la sección longitudinal el patrón no está muy bien definido, de la región proximal (base) hacia el ápice (región distal) comienzan a aumentar los valores de las tres características, después disminuyen y posteriormente aumentan y disminuyen en el ápice.

El análisis de correlación mostraron que a nivel general existe correlación positiva entre las variables densidad de la madera, longitud de traqueidas, ancho de traqueidas y grosor de la pared celular ( $0.43 \leq r \leq 0.75$ ).



## I INTRODUCCION

Actualmente, la población en México impone cada día mayores demandas de madera y materias primas para las industrias. Actualmente los bosques continúan abasteciendo diversos bienes y servicios, para satisfacer las necesidades actuales, aún cuando su capacidad de suministro va disminuyendo tanto en cantidad, como en calidad.

Las características estructurales de la madera son importantes debido a que el arreglo, forma y dimensiones de las células que la forman ocasionan variaciones que influyen directamente en sus propiedades tecnológicas. El peso específico de la madera influye en las características tecnológicas y en la calidad de producto obtenido. De manera igualmente importante, la longitud, el grosor de la pared celular y el diámetro de las traqueidas que son características que tienen una fuerte influencia en la cantidad de celulosa obtenida y en las propiedades del papel (Larios, 1979).

El mejoramiento genético es una técnica que está estrechamente relacionada con la aplicación de prácticas silvícolas sin embargo requiere para su aplicación del conocimiento detallado de las especies, particularmente de su variación natural, ya que constituye la base en que se apoya cualquier programa de mejoramiento.

El conocimiento de la variabilidad de las dimensiones transversales de traqueidas de *Pinus rudis* Endl. es de importancia, ya que es una especie ampliamente utilizada como materia prima en industria de aserrío en el Noreste de México y además podría facilitar la manufactura de productos de buena calidad que compitan con los importados, con esto se podrían mejorar los ingresos económicos para el industrial, el maderero y el dueño del bosque.

### 1.1 Objetivos e hipótesis

El objetivo general del presente estudio es estimar el nivel y la magnitud de la variación de dimensiones transversales de las traqueidas de la madera tardía, entre y dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coah.

Los objetivos específicos son:

- a) Estimar el valor promedio y la magnitud de la variación de las variables ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular, de la madera tardía entre árboles, entre altura de fuste dentro de árboles y entre secciones dentro de alturas de fuste, de *Pinus rudis* en la Armenia, Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.
- b) Estimar la contribución de cada fuente de variación (árboles, alturas de fuste y secciones transversales) a la variación total en las variables ancho de

traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular, de la madera tardía de *Pinus rudis* en la Armenia, Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

- c) Estimar el nivel de correlación entre diferentes variables de la madera de *Pinus rudis* en la Armenia, Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coah.

Las hipótesis nulas consideradas para el estudio son:

a) Ho: No existen diferencias en el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular, de la madera tardía, entre árboles de *Pinus rudis* de la Armenia Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

b) Ho: No existen diferencias en el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular, de la madera tardía, entre alturas del fuste dentro de árboles de *Pinus rudis* de la Armenia, Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

c) Ho: No existen diferencias en el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular, de la madera tardía, entre secciones dentro de altura de fuste, dentro de árboles de *Pinus rudis* de la Armenia, Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah

d) Ho: No existe correlación entre las variables de la madera (densidad de la madera, largo de traqueidas, ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared celular) de *Pinus rudis* de la Armenia, Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah

## II REVISION DE LITERATURA

### 2.1 *Pinus rudis* Endl.

Martínez (1948) menciona que esta especie fue clasificada por Endlicher en 1847, pero posteriormente fue designada como variedad del *Pinus montezumae* por Shaw en 1914, luego en 1930 Robertson sugirió que esta especie podría quedar como variedad del *P. hartwegii* o restituirse a su categoría específica como *P. rudis* Endl. Esta especie se diferencia de *P. montezumae* en sus hojas no colgantes y en sus conos morenos o verdosos, con escamas delgadas y comúnmente frágiles; del *P. hartwegii* se distingue en sus hojas siempre triangulares, fuertes robustos y erguidas, generalmente en número de cinco, entre las principales características.

#### 2.1.2 Descripción botánica

*Pinus rudis* es una especie arbórea de 8 a 25 m de altura, con un diámetro hasta de 75 cm o más, presenta una corteza áspera y gruesa, de color gris oscuro, dividida en placas largas y cuadrangulares; en cada fascículo tiene 5 hojas, a veces 4 o 6, miden de 10 a 18 cm de largo, con una coloración verde claro, casi glaucas, con vainas persistentes; tiene amentos masculinos de 1.5 a 2 cm de largo, de color café amarillento; los conillos femeninos son oblongos y pedunculados, de color azulado, se encuentran en grupos de 2 a 4; ligeramente ovoides, encorvados, de 8 a 14 cm de largo, de color café oscuro y a veces se presentan con tinte rojizo

amarillento, dispuestos por pares o en grupos de 3 ó 4. Semillas pequeñas de color oscuro con el ala de 3 cm de largo (Rzedowski, 1979 y Martínez, 1948).

## 2.1. Distribución y ecología

Esta especie se ha reportado en la República Mexicana, en los Estados de Coahuila, Nuevo León, Nayarit, Zacatecas, Jalisco, Michoacán, Hidalgo, México, Puebla, Oaxaca, Colima, Guerrero, Chiapas y D.F (Martínez, 1948; Perry, 1990). En Guatemala se ha reportado en Huehuetenango, San Marcos, Totonicapán, Quezaltenango, Solalá, Quinché, Chimaltenango, mientras que para Honduras se ha reportado en los altos de las vertientes del Cerro de Santa Bárbara (Perry, 1990).

La especie forma rodales puros y cubre grandes extensiones, comúnmente se encuentra asociado con el *P. hartwegii* en su máximo límite altudinal; en la parte baja se asocia con *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. ayacahuite* y *Quercus* sp (Eguiluz, 1978; Perry, 1990).

Generalmente el *P. rudis* tiene un rango altitudinal variable que va desde 2500 hasta 3300 metros sobre el nivel del mar. Ocasionalmente esta especie puede hallarse a menor elevación pero rara vez arriba de los 3300 msnm. Sobre este rango puede crecer mejor en condiciones de temperaturas frescas, se desarrollan con frecuencia en suelos someros y pobres (Rzedowski, 1979; Perry, 1990).

Las precipitaciones en los lugares de distribución de *P. rudis* oscilan de 600 a 1000 mm o más, presentándose ésta durante el período de lluvias de verano a otoño. Las temperaturas promedio anuales son alrededor de 12°C con extremas de 42°C como máximo y hasta -10°C como mínimo (Perry 1990; Eguiluz, 1978)

### 2.1.3. Importancia económica

El *P. rudis* es una especie de importancia económica en la Sierra Madre Oriental. En Coahuila, el municipio de Arteaga es de importancia forestal, el cual se localiza en el Sureste de la entidad, contando con una superficie arbolada de 50,000 ha cubiertas por una gran diversidad de especies forestales maderables entre ellas *Pinus ayacahuite*, *P. cembroides*, *P. rudis*, *Abies vejarii*, *Pseudotsuga flahaulti*, *Cupressus* sp, donde el *P. rudis* es la especie de mayor importancia comercial, representando el 70% del total de la producción maderable; los principales productos que se obtienen son trozas de medidas comerciales y morillos (Torres y Cano, 1993).

La madera de *P. rudis* es aprovechable en diversas regiones del país para otros usos; por las dimensiones que presenta se obtiene madera aserrada, duela para pisos, construcciones, muebles, durmientes para casas y minas, combustibles, puntales para minas postes y cercas, además se le utiliza ampliamente en la industria del papel ( Eguiluz, 1978).

#### 2.1.4 Características de la madera

Pérez de la Paz y Olvera (1980) describen detalladamente las características macroscópicas de la madera de *Pinus rudis*; mencionan que esta especie no tiene diferencias de color, entre albura y duramen, no así para la madera temprana y la madera tardía, ya que la primera presenta un color amarillo pálido y la segunda color castaño amarillento claro; no presentan olor ni sabor característicos; su brillo es mediano a alto, el veteado es pronunciado, y debido a los anillos de crecimiento presenta una textura fina a mediana.

Los anillos de crecimiento están perfectamente delineados por una banda obscura de madera tardía y una banda clara de madera temprana, su anchura es heterogénea, la madera temprana ocupa más de la mitad del total del anillo, la transición de madera temprana a tardía es gradual, los rayos se pueden observar a simple vista; presenta canales resiníferos (Pérez *et al.*, 1980).

Respecto a las características microscópicas de esta especie, presenta traqueidas largas, con diámetro tangencial del lumen mediano y un grosor de la pared muy delgado en la madera temprana y la madera tardía tiene un diámetro tangencial del lumen fino y un grosor de la pared celular delgado; sus caras radiales presentan una hilera de puntuaciones areoladas; presentan rayos de tipo homogéneo, numerosos y muy pocos, los que no presentan canal son uniseriados, los que sí presentan son fusiformes de 3 a 4 series, en la parte cercana del canal; en los campos de cruzamiento se observa de 1 a 2 puntuaciones de tipo pinoide; las

traqueidas de rayo presentan bordes dentados, los canales longitudinales son poco numerosos; no presenta parénquima axial (Pérez *et al.*, 1980).

## 2.2 Variación natural

“La variación es un componente de la biodiversidad”, la biodiversidad es la resultante de: a) variación, b) especiación (a través de los procesos combinados de mutación, recombinación genética, sexualidad, aislamiento en suma de la Evolución biológica) porque representa la riqueza de los recursos genéticos y para manejarlos se tiene que medir sus niveles y patrones de variación. La variación genética reside dentro de la especie, entre y dentro de las poblaciones (Furnier, 1986).

La variación es la tendencia que se manifiesta en los individuos a diferenciarse unos de otros; es decir, el fenómeno mediante el cual los descendientes de un par de progenitores difieren no sólo entre sí, sino en relación con los que les dieron origen (de la Loma, 1982).

La variación en los árboles forestales puede ser causada por diferencias ambientales y genéticas. La primera puede controlarse y manipularse mediante prácticas silvícolas, sin embargo, es la causa más importante de la variabilidad en algunas características como el crecimiento, la forma y la calidad de los árboles (Zobel y Talbert, 1988). Y la variación genética (dentro de la especie) es suficientemente pequeña como para poder reconocer los descendientes de la misma especie de sus progenitores, y suficientemente grande como para poder distinguir

entre individuos de la misma especie; así por variación genética se entiende la riqueza o diversidad combinatoria de los materiales hereditarios (variación) asociada dentro de especies y se transmite de generación a generación (Jara, 1995).

En general, para el uso de la variación natural se debe de conocer la magnitud y los patrones de variación. La magnitud de la variación determinará si es posible mejorar las características e influirá en el método de selección y la ganancia genética que sea posible obtener. Por su parte, el patrón de la variación limitará el área donde sea posible seleccionar los padres superiores para los huertos semilleros, y a la vez, los patrones de variación pueden ser resultado de las fuerzas selectivas del ambiente; si es que los patrones de variación corresponden con la variación de los factores ambientales (Nienstaedt, 1990).

### 2.2.1 Variación morfológica

La variación morfológica indica la tendencia y dirección de la evolución dentro de las poblaciones y especies. En general, la variación morfológica se entiende como las diferencias de la forma y estructura de un organismo durante el crecimiento y reproducción (Cronquist, 1977).

La evolución es el resultado del cambio en la constitución hereditaria de una especie; la necesidad de la variación se demuestra por la enorme diversidad de la vida en las poblaciones y en las especies; no hay variación cuando no existen fuerzas evolutivas. Lo importante para comprender las fuerzas evolutivas es el

significado de las variaciones; las variaciones de caracteres observados dentro de las poblaciones se expresan como diferencias fenotípicas. Un fenotipo es la suma de los atributos morfológicos, fisiológicos, ecológicos y de conducta de un individuo en cualquier etapa de su existencia y el genotipo que determinan el curso del desarrollo de un individuo en un medio particular (Mettler y Gregg, 1979).

Se puede comprender la variabilidad existente en las especies forestales por medio de la medición de las características morfológicas. Así por ejemplo, en el género *Pinus*, se ha estudiado ampliamente la variación morfológica de acículas y conos, algunos ejemplos de este tipo de trabajos son los realizados por Beristain (1992), en *Pinus greggii*, por Morales (1995) en *Pinus engelmannii* y *Pinus cooperi* y por Santos (1998) en *Pseudotsuga*.

### 2.2.2 Niveles de variación

La variación es considerable en las especies forestales, en comparación con otros organismos vivos; sin embargo, es necesario conocer los niveles de variación que se pueden agrupar en: variación geográfica o de procedencia, variabilidad entre sitios, variación entre rodales dentro de sitios, diferencias entre árboles dentro de un rodal, variación dentro del árbol (Zobel y Talbert, 1988).

La variación geográfica o de procedencia significa la diferencias entre el promedio de las características de los individuos representantes de una población que se separan geográficamente. El estudio de la variación geográfica se considera

de gran importancia ya que de él depende gran parte del éxito y manejo de cualquier programa sobre el mejoramiento genético forestal (Mettler y Gregg, 1979; Zobel y Talbert, 1988).

Se han realizado numerosos estudios relacionados con la variación geográfica o de procedencias. Por ejemplo, García, Bermejo y Ramírez (1975) realizaron un estudio de la determinación de ganancia genética en *Eucalyptus camaldulensis* Denh. mediante estudios de procedencia. Hernández y Eguiluz (1986) estudiaron la variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis*, en seis procedencias de Chiapas y una de Oaxaca.

La variabilidad entre sitios en una procedencia presenta algunas diferencias bastantes grandes relacionados con distintos sitios; con frecuencia estas diferencias no están determinadas genéticamente y sólo representan los efectos de diferentes ambientes sobre el crecimiento y desarrollo del bosque. En general, los estudios en pinos han demostrado que las diferencias de sitios, comparadas con otras causas de variación genética contribuyen únicamente con una pequeña cantidad de la variación genética total. Sin embargo las diferencias de sitios dentro de una procedencia son grandes y bastante comunes, por lo que se debe considerar como importante al momento de muestrear poblaciones naturales, aun cuando por lo general resultan ser de naturaleza ambiental y no genética (Zobel y Talbert, 1988).

La variación entre rodales dentro de sitios se refiere a las diferencias que existen entre rodales dentro de un determinado sitio, la cual se ha encontrado que es

muy pequeña, como las diferencias genéticas que son relativamente pequeñas, pero a veces se encuentran otras fuentes de variación inexplicable. Esto es especialmente cierto para las características morfológicas, las cuales por lo general difieren genéticamente muy poco entre los árboles de cualquier sitio. En general, las diferencias de un rodal a otro dentro de un sitio son tan poco importantes que pueden ignorarse, pero éste no siempre es el caso, especialmente cuando el hombre ha intervenido cambiando las poblaciones a través de corta selectiva, aclareo u otras actividades de manejo forestal (Zobel y Talbert, 1988).

Las diferencias entre árboles de una especie pueden variar entre sí, aún cuando crezcan en el mismo rodal. Este es el principal tipo de variación genética que se utiliza en un programa de selección y cruzamiento genético. Muchas de las diferencias existentes en un árbol, especialmente las características cualitativas tales como la forma y la adaptabilidad, están controladas genéticamente. Las diferencias genéticas de un árbol a otro de una especie son grandes y son la fuente principal de la variación utilizada por el genetista (Zobel y Talbert, 1988).

La variación dentro del árbol existe únicamente para algunas características como el peso específico o densidad de la madera, las dimensiones de las fibras, así como en las características del follaje, por ejemplo, en las hojas del mismo árbol expuestas al sol y a la sombra. La parte del árbol donde ocurre la variación es importante, debido a que influye sobre los tipos de mediciones y las posiciones donde éstas deben tomarse para obtener valores estadísticamente confiables de las diferencias reales que existen de un árbol a otro (Zobel y Talbert, 1988). Ejemplos de

este nivel de variación es el que se realizó para conocer el nivel de la variación en la densidad de la madera de *P. rudis* entre árboles y dentro del árbol (López, 1997).

### 2.3 Madera de coníferas

En las coníferas generalmente se producen dos tipos de madera, la temprana y la tardía. La madera temprana se desarrolla durante la primera parte de la fase de crecimiento, presenta células de diámetro relativamente grande y paredes de poco grosor y la madera tardía se comienza a formarse a mediados del año o más tarde, presenta células más pequeñas y de paredes más gruesas (Robles y Echenique, 1983). En algunas coníferas la madera de verano se diferencia drásticamente de madera de primavera del mismo año, en cambio en otras, la madera de primavera se va confundiendo con la madera de verano (Cronquist, 1977).

De acuerdo con la definición de Mork, la madera de verano consta de células que poseen una pared del doble de grosor tan grande o mayor que el diámetro del lumen, pero otros autores no están de acuerdo con esta definición, quienes mencionan que el grosor real de la pared de las células de verano varía ampliamente entre los árboles, porque algunos tienen madera de verano de pared gruesa donde el lumen es muy pequeño, con una coloración negra u oscura en los pinos (Zobel y Talbert., 1988).

En las coníferas, las células del cambium se dividen para producir relativamente pocos tipos de células, en su mayoría traqueidas. Las traqueidas de primavera tienen

grandes diámetros y paredes delgadas. En la temporada de crecimiento hay una transición, pues cesa la producción de traqueidas de la madera temprana para la formación de traqueidas de madera tardía que son lignificadas, de paredes más gruesas y de menor lumen. Esta transición entre la producción de la madera temprana a la madera tardía, puede ser gradual o súbita, lo que depende de la velocidad de reducción de la concentración de auxinas libres, de que la especie tenga un umbral de sensibilidad definido en cuanto a la estimulación por auxinas y lo súbito y severo de las condiciones de sequía (Daniel, Helmans y Baker ( 1982).

La madera de verano (madera tardía) y la de primavera (madera temprana) forman células muy distintas entre sí. En las coníferas, por lo general, son las células de la madera de verano las que tienen el efecto importante sobre sus propiedades y los demás productos (Zobel y Talbert, 1988). Y la madera temprana tiene poco efecto sobre dichas propiedades debido a que las propiedades de las células de la madera temprana pueden variar de un árbol a otro, pero el efecto de las diferencias entre dichas células es por lo general bastante pequeño (Zobel y Talbert, 1988).

### 2.2.1 Traqueidas

El término de traqueidas fue introducido por Sanio en 1863, quien estudió las similitudes y diferencias entre éstas y las tráqueas (Esau 1976). Las traqueidas constituyen la mayor parte de la madera de las de coníferas. Se trata de células estrechas y alargadas, con paredes terminales ahusadas y puntiagudas y paredes secundarias bien desarrolladas, lignificadas con un lumen bien desarrollado y sin

contenido vivo en la madurez (Cronquist 1977; Stevenson y Martens, 1980; Hunt y Garrat, 1962).

Las traqueidas son de longitud muy variable, incluso en la misma especie; fluctúan entre 5, 7 y 9 mm entre las coníferas comunes; la longitud media general para todas las especies es aproximadamente de 3.5 mm. En general, las traqueidas son cien veces más largas que anchas y el diámetro de la luz (cavidad celular) oscila entre 0.005 y 0.05 mm (Hunt y Garrat, 1962). Así por ejemplo, en *P. patula* el largo de traqueida es de 3.21 mm, en *P. rudis* de 3.36 mm y en *P. teocote* es de 3.79 mm (Feria y Eguiluz, 1989).

### 2.3.2 Importancia de las dimensiones transversales de las traqueidas

En las coníferas, las dimensiones transversales de las traqueidas son de importancia fundamental el estudio de la variación, para todas aquellas especies de importancia económica, ya que se requiere un amplio conocimiento de sus características anatómicas y morfológicas de las células, que ocasionan variaciones en las características de la madera, las cuales influyen directamente en sus propiedades tecnológicas: densidad de la madera, proporción de la madera temprana y tardía, dimensiones transversales de traqueidas (Torres . y Eguiluz, 1989).

Las dimensiones de las fibras contribuyen positivamente o negativamente con el tipo y calidad del papel producido (Luna, 1983), a la vez que determinarían si una

madera es apropiada para producir pulpa de una determinada calidad (Tamarit, 1996).

### 2.3.3 Índices de calidad de la madera

Los índices de calidad de las pulpas constituyen una magnífica ayuda para saber de antemano lo que se puede esperar al emplear tal o cual madera. Los índices de calidad son diferentes relaciones entre las dimensiones de las fibras, las cuales influyen de manera directa, indirecta o bien complementaria sobre las características generales de la pulpa, tales como densidad, volumen, resistencia al paso del agua y del aire, resistencia a la tensión, a la explosión, al rasgado y a las propiedades que determinan la impresión (Tamarit , 1996).

Algunos de los índices de calidad de pulpa más utilizados, obtenidos en función de las dimensiones de las traqueidas son el coeficiente o índice de rigidez (C.R.), el coeficiente de flexibilidad (C.F.), el índice de esbeltez (I.E.) y relación de Runkel (R.R.) (Tamarit, 1996; Larios, 1979).

## 2.4 Disociación de la madera

Los métodos de maceración que pueden utilizarse para obtener células aisladas de los tejidos leñosos son diversos. Algunos de los más recomendados en la literatura son los siguientes: el método de maceración, mezcla de maceración;

tratamiento especial de madera dura; método de Franklin; método de oxalato de amonio; métodos de Schultze; de Jeffrey y de Harlow (Roth, 1964; Curtis, 1986).

El método de maceración es especial para tejidos leñosos; consiste hervir en el material algunas veces y dejar enfriar alternativamente hasta que el aire se escape. Después se aplica una mezcla especial en que los objetos tienen que estar hasta que las lamelas medias se disuelven y así las células se separan unas de otras (Roth, 1964).

En la mezcla de maceración se combinan partes iguales de una solución acuosa de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al por ciento y una solución acuosa de ácido crómico al por ciento. Se depositan muestras de madera en esta mezcla y se deja el material al menos por 24 horas. En casos especiales pueden ponerse los objetos a mayores temperaturas para acelerar el proceso de maceración. Luego se lavan los objetos en agua. Después puede colorearse el material con safranina al uno por ciento durante seis horas. El método es especialmente recomendable para hacer visibles los distintos elementos del xilema secundario (Roth, 1964).

En el tratamiento especial de madera dura hay que ablandar el material con ácido fluorhídrico (HF). Se usa una solución acuosa con 1/3 de HF y 2/3 de agua destilada. La madera se seca, se trata con ácido fluorhídrico y se hierve alternativamente, luego se transfiere el material con agua fría y se saca el aire con una bomba de vacío (Roth, 1964).

En el método de Franklin la prueba se hace con ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) al 30%. A cada frasco se le agrega una solución compuesta de 2 ml de cada sustancia, posteriormente los frascos se incuban a 60°C por un periodo de 24 horas (Curtis, 1986).

En el método de oxalato de amonio, el cual es útil para material no leñoso, la muestra se cubre con una mezcla de etanol al 96% y ácido clorhídrico (HCl) concentrado, en proporción de 3:1, durante 24 horas o más. Después el material se lava con agua destilada y se transfiere a una solución acuosa de oxalato de amonio al 0.5 %. En unos cuantos días, dependiendo del material, los tejidos pueden separarse fácilmente con agujas (Curtis, 1986).

En el método de Schultze, el material se deposita en un tubo de ensayo y se cubre con HNO<sub>3</sub> concentrado, se agregan unos cristales de clorato de potasio y se calienta con muchísimo cuidado (es muy peligroso). Cuando se haya blanqueado el material, se lava bien con agua destilada y se desintegra con perlas de vidrio o con agujas (Curtis, 1986).

En el método de Jeffrey es necesario dejar durante unos días el material en un tubo de ensayo cubierto con una mezcla de ácido crómico al 10% y ácido nítrico al 10% con proporción 1:1. El proceso puede acelerarse si los tubos de ensayo se meten en una estufa entre 40 a 50°C. Después se lava bien el material y se desintegra (Curtis, 1986).

En el método de Harlow, se hierve el material en un tubo de ensayo con agua de cloro durante unas horas y se lava bien con agua. Luego se hierve en una solución acuosa de sulfato de sodio al 3% durante aproximadamente 15 minutos, se lava bien el material y se desintegra (Curtis, 1986).

En diversos trabajos de coníferas el más empleado ha sido el método de Franklin, así por ejemplo Torres y Eguiluz (1988) lo emplearon en *P. patula*, *P. rudis*, *P.oaxacana* y *P. teocote*; por su parte Feria y Eguiluz (1989) lo utilizaron en *P.maximinoi*, *P. oocarpa* y *P.michoacana*; y Rodríguez, (1998) lo empleó en *P. rudis*.

## 2.5 Muestreo

En el trabajo estadístico es importante saber cuándo estamos trabajando con una población completa de observaciones, o una muestra de observaciones seleccionada de una población específica.

El propósito del muestreo es que sea más eficiente. Su objetivo es desarrollar métodos de selección de muestras y de estimación, que proporcionen información requerida y la precisión deseada para ciertos propósitos (Cochran, 1982). El muestreo propiamente dicho consiste evidentemente en la obtención efectiva de la muestra, esto es la recolección de datos que la constituyen y será conveniente cuando constituya la solución de mayor eficiencia (Ozorio, 1972).

En el caso de estudios de variación donde existe diversos efectos y niveles de variación se recomienda el diseño anidado o jerárquico (Cochran, 1982; Zobel y

Talbert (1988). Lo han recomendado para estudios de varios niveles de variación en árboles forestales obteniendo buenos resultados.

### III MATERIALES Y METODOS

#### 3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio donde se colectaron las muestras para realizar el presente trabajo se localiza en la porción Norte de la Sierra Madre Oriental, ubicada específicamente en el predio la Armenia lote No. 2, Sierra las Alazanas, municipio de Arteaga, Coahuila. Geográficamente se ubica entre las coordenadas  $25^{\circ} 23' 06''$  y  $25^{\circ} 23' 30''$  de latitud Norte y  $100^{\circ} 30' 00''$  y  $100^{\circ} 30' 23''$  de longitud Oeste (INEGI, 1992).

El relieve es principalmente de laderas altas y bajas, y lomeríos, presentando una altura promedio de 3250 metros sobre el nivel del mar (INEGI 1992).

Geológicamente las rocas son de origen sedimentario, en su mayoría calizas, las que están compuestas en gran parte de mineral calcita, además se puede encontrar en algunas partes del área lutitas, areniscas (CETENAL, 1976).

Los suelos existentes son de textura media de tipo litosol y rendzina, los primeros se caracterizan por ser suelos de una profundidad menor de 10 cm que sobreyacen a la roca y descansan sobre los caliches fuertemente cementados, y los segundos son suelos pedregosos, someros de color oscuro con mayor contenido de materia orgánica, no son profundos (CETENAL, 1977; INEGI, 1990).

Los datos climatológicos de la estación más cercana al área de estudio que es San Antonio de Las Alazanas, Mpio. de Arteaga, Coah., presentan una fórmula climática Cb(x')(wo)(e)g, la cual corresponde a un clima templado, con verano fresco largo, con regímenes de lluvia en verano, entre los meses de julio y agosto, presentando una mayor precipitación entre los meses de junio a septiembre; los meses más secos son febrero y marzo; la precipitación media anual es de 448 mm. El área presenta una temperatura promedio anual de 13.3°C, con valores promedio máxima extrema de 22°C y mínima extrema de - 8 °C. Las heladas se presentan entre los meses de octubre a marzo (García, 1978; Mendoza, 1983 ).

En cuanto a la vegetación el área está cubierta de bosque de *Pinus* destacando *P. rudis*, en menor proporción *P. ayacahuite* así como *Pseudosuga flahuati*, también se presentan en el estrato arbustivo *Quercus sp*, y *Arbutus xalapensis* (DETENAL, 1976).

### 3.2 Trabajo de campo

Primeramente se hizo un recorrido en toda el área bajo aprovechamiento, posteriormente se seleccionaron los árboles a utilizar, marcándolos con pintura e identificándolos. Para la selección de los árboles se consideraron las siguientes características: árboles dominantes o codominantes libres de enfermedades y plagas, árboles de buen fuste, no bifurcados, tampoco despuntados. Los árboles seleccionados se derribaron y luego se marcaron a lo largo del fuste para la

obtención de las rodajas, midiendo la primera rodaja a 0.30 m de altura del nivel del suelo y después cada 2.54 m hasta 1m antes del ápice; y finalmente se seccionaron para obtener rodajas aproximadamente de 5 cm de grueso en cada una de las alturas indicadas (Figura 1) (López, 1997; Rodríguez, 1998). Debido a que los árboles tenían diferentes alturas y diámetros, únicamente un árbol presentó rodaja de la altura de 18.08 m.

### 3.3 Trabajo de laboratorio

Las rodajas que se utilizaron fueron de 5 árboles, en cada rodaja se obtuvo una faja de 5 cm de ancho y de largo igual al diámetro; posteriormente cada faja de madera fue seccionada a cada 5 cm de longitud partiendo de la médula hacia el exterior para ambos lados, se identificó y se marcó con el número del árbol, número de rodaja y número de sección correspondiente (Figura 2) (Rodríguez, 1998). También en este caso, únicamente un árbol presentó sección de 15-20 cm en la altura de rodaja 0.30 m y 2.84 m.

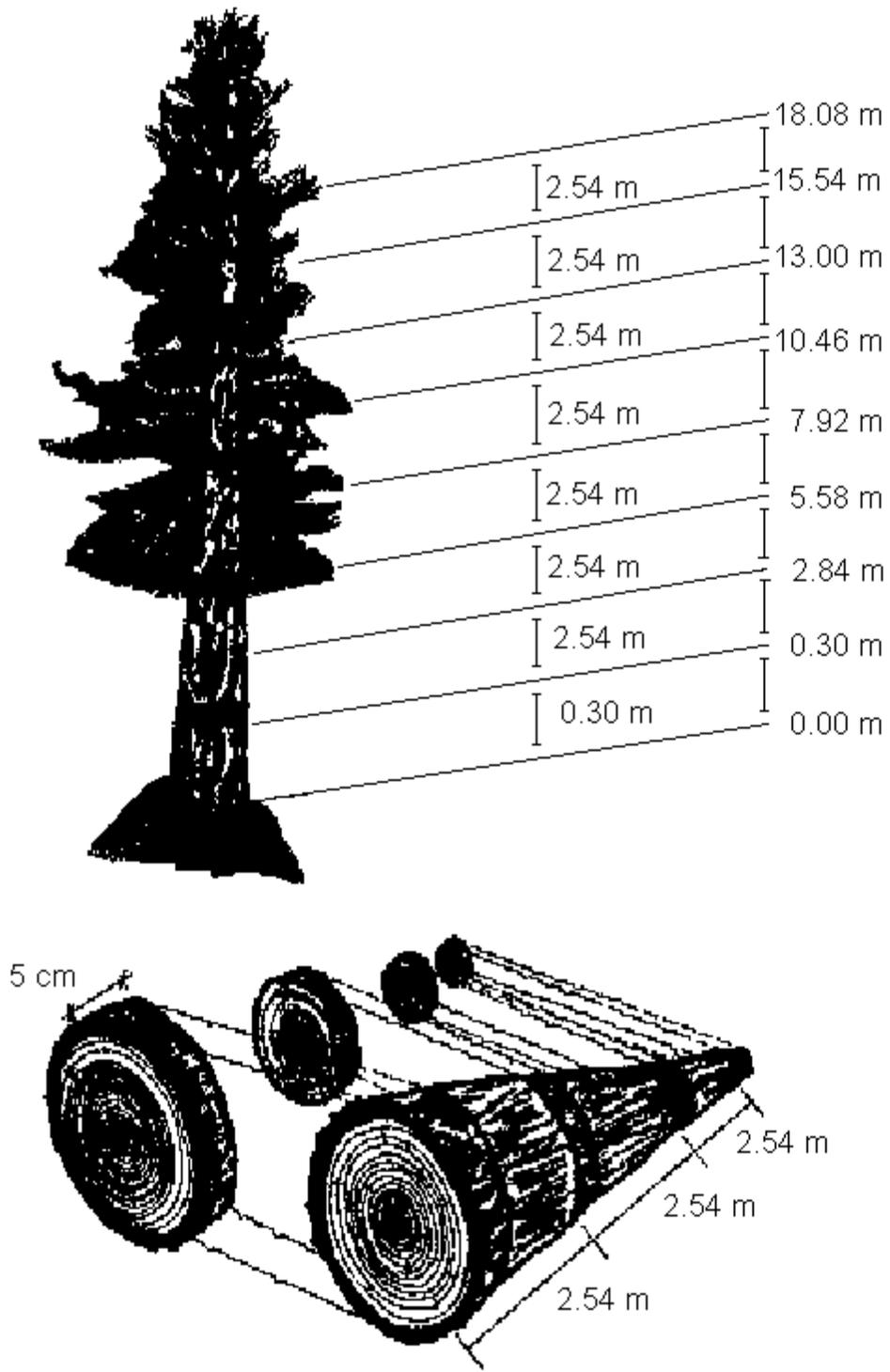
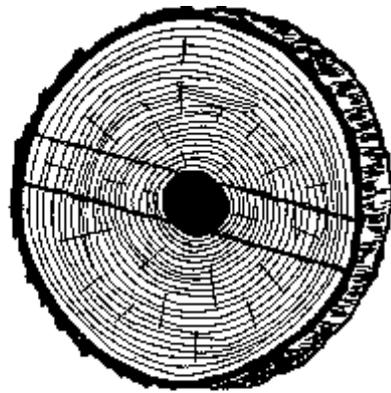
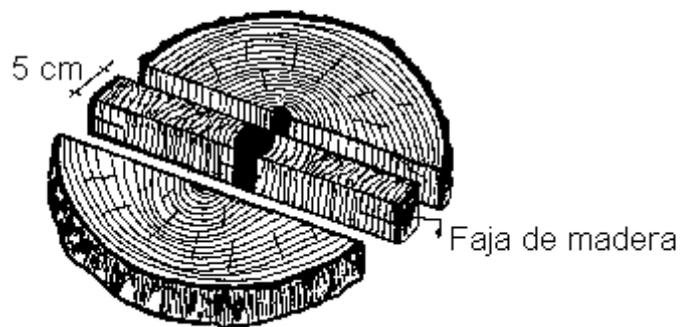


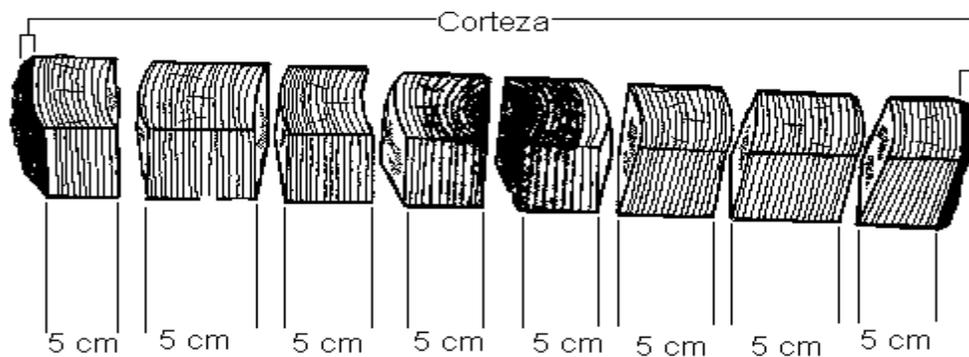
Figura 1. Representación esquemática del seccionado del fuste del árbol y extracción de rodajas (Adaptado de Vaca, 1992).



Rodaja de madera completa



Rodaja seccionada



Seccionado de la faja de madera

Figura 2. Representación esquemática de corte de rodaja, extracción de faja y seccionado de faja de madera (Adaptado de Vaca, 1992).

### 3.3.1 Obtención de anillos de la madera tardía

A cada sección de muestra de madera se le hizo un corte longitudinal de 1 cm por uno de los costados de la madera para obtener un anillo, de la parte media de cada sección, de este anillo se obtuvo la parte de madera tardía (parte oscura) para lo cual se cortó cuidadosamente con bisturí la parte de madera temprana (parte clara) bajo observación en el microscopio hasta dejar solamente la madera tardía. Cada anillo se colocó en frasco pequeño de vidrio de 10 ml, debidamente etiquetados para posteriormente disociar la madera.

### 3.3.2 Disociación del material

Para el disociado de la madera se utilizó el método de Franklin con algunas modificaciones, una mezcla de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno (agua oxigenada) al 30%. en proporción 1:1 a cada frasco se le agregó 4 ml de esta mezcla. Posteriormente estos frascos se colocaron en una estufa a 70 °C por 24 horas. Durante este período de incubación los anillos de crecimiento se tornaron de color plateado, lo cual fue síntoma de que las láminas medias se estaban desintegrando.

Posteriormente este material se lavó con agua corriente tres veces, esto se hizo con el fin de eliminar el exceso de la mezcla, finalmente se agitaron fuertemente para que quedara bien disociado el material; inmediatamente se procedió a teñir el material con safranina, para lo cual se dejó reposar el material con el colorante por

un período de 24 horas para obtener una mejor tinción; después se lavó el material con agua destilada para eliminar el exceso de colorante. Para llevar a cabo esto se necesitó de un trozo de media que se utilizó como coladera para evitar la pérdida del material al ser lavado. Una vez lavado el material, a cada frasco se le agregaron 5 ml de agua destilada y tres gotas de formaldehído para preservar el material. Posteriormente se fijaron en portaobjetos agregándoles bálsamo de Canadá y colocándoles cubreobjetos para una fijación permanente del material; cada laminilla fue etiquetada con los datos de número de árbol, número de rodajas y número de sección, a que pertenecían.

### 3.3.3 Características medidas

Para este estudio únicamente se midieron tres características dimensionales de traqueidas: el ancho de las traqueidas, el ancho de lumen y el grosor de la pared celular.

Para medir estas características se procedió con mucha precaución para evitar todas aquellas traqueidas dobladas o traslapadas y traqueidas partidas. Estas mediciones se realizaron en un microscopio compuesto, al que se le adaptó un micrómetro ocular en el lente de 5x, éste en combinación con el objetivo de 100x permitió ver con claridad y precisión las características de interés que fueron medidas y registradas.

Las características dimensionales de traqueidas se midieron con una reglilla graduada, dado que ésta no tenía unidad de medición, fue necesario obtener un factor de conversión, para ello se eligió una muestra de varias traqueidas ya medidas, como se mencionó anteriormente, éstas se midieron en un microscopio al que se le ajustó un ocular de medición y un micrómetro de objeto graduado a una cierta escala, donde se obtuvo las mediciones en micras; una vez obtenidas estas mediciones, se estimó un valor promedio de factor de conversión para emplearse de manera general en todas las medidas.

### 3.4 Muestreo y análisis estadístico

Con la finalidad de conocer un valor aproximado de tamaño de muestra, se realizó un premuestreo al azar de diez diferentes secciones y alturas; en cada unidad de muestreo se midieron veinte traqueidas como tamaño de premuestreo y considerando un valor de alfa de 0.05 y un error de medición entre 2 y 8%, respecto a los valores promedios, se procedió a calcular el tamaño de muestra utilizando la fórmula que señala Freese (1969) para el muestreo al azar.

$$n = \frac{t^2 s^2}{E^2}$$

Donde:

$n$  = tamaño de muestra

$t$  = valor de  $t$  Student

$s^2$  = varianza muestral

$E$  = error permisible

En función de los resultados se decidió medir 40 traqueidas en cada unidad de muestreo (Apéndice 1).

Para cada variable se obtuvieron valores promedio, así como medidas de dispersión (valores mínimo, máximo, desviación estándar y coeficiente de variación). Para el cálculo de la media poblacional se consideró un nivel de confiabilidad de 95% y se realizó mediante la fórmula de intervalo de confianza (Infante y Zárate, 1990).

Con los valores promedio de las dimensiones de traqueidas se estimaron cuatro índices de calidad de pulpa, de la siguiente manera: el Coeficiente o índice de rigidez (C.R.) al dividir el grosor de las dos paredes de la fibra entre el diámetro de la traqueida; el Coeficiente de flexibilidad (C.F.) al dividir el diámetro de lumen entre el diámetro de la traqueida; el índice de esbeltez (I.E.) al dividir el largo de la fibra entre el diámetro; la Relación de Runkel (R.R.) al dividir el grosor de las dos paredes de la fibra entre el ancho de lumen (Tamarit, 1996; Larios, 1979).

El modelo estadístico que se utilizó para el análisis de varianza de las dimensiones transversales de las traqueidas (ancho de traqueidas, ancho de lumen, grosor de la pared celular) es el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + HR_{j(i)} + S_{k(ji)} + E_{ijkl}$$

Donde:

- $Y_{ijkl}$  = Valor de la variable  
 $\mu$  = efecto de la media población para la característica de estudio  
 $A_i$  = efecto debido a diferencias entre árboles  
 $HR_{i(j)}$  = efecto debido a diferencia en la altura de rodajas dentro de árboles  
 $S_{k(ji)}$  = efecto debido a diferencias entre secciones (distancia de la médula hacia la corteza) dentro de rodajas, dentro de árboles  
 $E_{ijkl}$  = efecto aleatorio (error de muestreo entre secciones)
- $i = 1, 2, 3, \dots a$  (número de árboles)  
 $j = 1, 2, 3, \dots r$  (número de rodajas)  
 $k = 1, 2, 3, \dots s$  (número de secciones)  
 $l = 1, 2, 3, \dots n$  (número de observaciones)

La interpretación del modelo es que la variable respuesta está en función de una media poblacional, más el efecto del  $i$ -ésimo árbol, el efecto de la  $j$ -ésima rodaja dentro del  $i$ -ésimo árbol, el efecto de la  $k$ -ésima sección dentro de la  $j$ -ésima rodaja del  $i$ -ésimo árbol y el error de muestreo dentro de las secciones.

También se realizó un análisis de componentes de varianza considerando el mismo modelo estadístico. En el Cuadro 1 se muestran las esperanzas de los cuadrados medios para los análisis correspondiente.

Cuadro 1. Componente de los cuadrados medios esperados del análisis de varianza para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

Fuente de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	Esperanza de los cuadrados medios
A (a)	a-1	CM A	$\sigma^2_e + k_3 \sigma^2_{c(a,b)} + K_5 \sigma^2_{b(a)} + k_6 \sigma^2_a$
HR (b)	a(b-1)	CM HR	$\sigma^2_e + k_2 \sigma^2_{c(a,b)} + k_4 \sigma^2_{b(a)}$
S (c)	ab (c-1)	CM S	$\sigma^2_e + k_1 \sigma^2_{c(a,b)}$
Error (e)	abc (n-1)	CM E	$\sigma^2_e$

$\sigma^2_e$  = Varianza de error;  $\sigma^2_a$  = Varianza entre árboles;  $\sigma^2_b$  = Varianza entre alturas de rodajas;  $\sigma^2_c$  = Varianza entre secciones;  $k_1 \dots k_6$  = Coeficiente asociado a los componentes de varianza; a = número de árboles; b = número de rodajas; c = número de secciones; A = árbol; HR = altura de rodajas; S = secciones; E = error.

El análisis de información para las dimensiones transversales de traqueidas fueron analizados empleando el paquete SAS (Statiscal Analysis System) el cual permitió utilizar los procedimientos adecuados (PROC ANOVA, PROC VARCOMP) para realizar el análisis de varianza y el análisis de componentes de varianza.

Asimismo se realizaron análisis de correlación simple (correlación de Pearson) a partir de los valores promedios de dimensiones transversales de traqueidas, ancho de traqueidas (AT), ancho de lumen (AL), grosor de la pared (GP) por sección y por altura, utilizando además, los valores promedios de la densidad de la madera obtenidos del trabajo de López, (1997) y el valor promedio del largo de traqueidas del trabajo de Rodríguez,( 1998) de los mismos árboles estudiados para lo cual también se empleó el paquete SAS (PROC CORR).

## IV RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1 Medidas de tendencia central y dispersión

En el Cuadro 2 se presentan los valores de número de observaciones, valor mínimo, valor promedio, valor máximo, desviación estándar y coeficiente de variación, para las variables ancho de traqueida (AT), ancho de lumen (AL) y grosor de la pared celular (GP) de madera tardía de *Pinus rudis* de la Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

Cuadro 2. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones Transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus rudis* en Sierralaz Alazanas, Arteaga, Coah.

Variable	N	Valor mínimo (micras)	Valor medio (micras)	Valor máximo (micras)	s (micras)	CV (%)
Ancho de traqueida	2748	10.0	36.0	60.0	6.9	19.2
Ancho de lumen	2748	6.0	25.5	51.0	6.5	25.5
Grosor de la pared	2748	1.0	5.3	10.50	1.7	20

N = Número de observaciones; s = Desviación estándar; C.V = Coeficiente de variación.

Los valores promedios de ancho de traqueida (36 micras), de ancho de lumen (25.5 micras) y grosor de la pared celular (5.3 micras) obtenidos en este trabajo corresponden, de acuerdo con la clasificación de Ortega, Guerrero, Carmona, y

Córdoba (1988) a traqueidas extremadamente ancha de diámetro, extremadamente ancha de lumen y muy gruesa de pared celular (Apéndice 2).

Con los datos presentados de las dimensiones transversales de traqueidas (Cuadro 2), se observa que si se presentan los valores promedio, con más o menos una desviación estándar, el ancho de traqueida presenta un valor de  $36 \pm 6.9$  micras, de modo que considerando una distribución normal se tendría que alrededor del 65% de las traqueidas de esta especie tiene valores entre 29.1 y 42.9 micras y el valor de la media poblacional se encuentra entre 35.72 y 36.27 micras. Para el ancho de lumen se tendría un valor de  $25.5 \pm 6.5$  micras y considerando una distribución normal alrededor del 65% de las traqueidas de esta especie tienen valores entre 19 y 32 micras y la media poblacional está entre 25.24 y 25.76 micras. Para el grosor de la pared celular se presenta un valor de  $5.3 \pm 1.7$  micras, considerando una distribución normal, alrededor del 65% de las traqueidas se ubica entre los valores 3.6 y 7 micras y la media poblacional se encuentra entre 5.23 y 5.36 micras.

Considerando los valores promedios de dimensiones transversales de traqueidas de diversas especies de coníferas, de acuerdo con la clasificación de Ortega *et al.* (1988), se aprecia que las traqueidas se clasifican en la mayoría de los casos como extremadamente anchas de diámetro, extremadamente anchas de lumen y muy extremadamente gruesas de pared celular, lo cual no ocurre para muchas de las especies de latifoliadas, que se agrupan en distintas categorías, como se muestran en el Cuadro 3, por lo cual esta clasificación parecería no ser muy útil para su uso en coníferas.

Cuadro 3. Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas de algunas especies de latifoliadas y coníferas de acuerdo con Ortega *et al.*

División	Especie	Variable (micras)		Muy ancha	Mediano	Muy fino	Moderadamente delgado	Extremadamente ancho	Extremadamente gruesa	Muy gruesa	Moderadamente Gruesa	Moderadamente ancho	
		A.T.	G.P.										
Angiospermas	<i>Croton draco</i> <sup>1</sup>	A.T.	26	*									
		G.P.	4		*								
	<i>Dyphysa carthaginesis</i> <sup>1</sup>	A.T.	11			*							
		G.P.	3				*						
	<i>Eugenia jambos</i> <sup>1</sup>	A.T.	30					*					
		G.P.	11						*				
	<i>Heliocarpus donell</i> <sup>1</sup>	A.T.	32						*				
		G.P.	4	*									
	<i>Inga vera</i> <sup>1</sup>	A.T.	23	*									
		G.P.	6							*			
	<i>Quercus castanea</i> <sup>1</sup>	A.T.	21								*		
		G.P.	7							*			
<i>Quercus xalapensis</i> <sup>2</sup>	A.T.	24	*						*				
	G.P.	10							*				
<i>Albizia niopoides</i> <sup>2</sup>	A.T.	19		*								*	
	G.P.	5										*	
<i>Pithecellobium disciferum</i> <sup>2</sup>	A.T.	21								*			
	G.P.	7							*				
Gimnospermas	<i>Pinus patula</i> <sup>3</sup>	A.T.	45					*					
		A.L.	27					*					
		G.P.	9						*				
	<i>Pinus oaxacana</i> <sup>3</sup>	A.T.	40						*				
		A.L.	24						*				
		G.P.	8						*				
	<i>Pinus teocote</i> <sup>3</sup>	A.T.	43						*				
		A.L.	19						*				
		G.P.	12						*				

A.T. = ancho de traqueidas, A.L.= ancho de lumen, G.P.= grosor de la pared celular.

1 =tomado de Ortega *et al.* (1988); 2 =tomado de Santiago y Ortega (1992) ; 3 =tomado de Torres y Eguiluz (1989)

Los índices de calidad de las traqueidas son indicadores de la calidad de pulpa para el papel que se puede obtener; así por ejemplo, un valor alto en el

coeficiente de flexibilidad (C.F.) y valores bajos en el índice o coeficiente de rigidez (C.R), en el índice de esbeltez (I.E.) y en la relación Runkel (R.R.), son indicadores de que son posible obtener una pulpa de buena calidad (Tamarit, 1996).

Con los valores de las dimensiones transversales de traqueidas del presente trabajo, los valores de índice de calidad son los siguiente C.F. = 0.71;C.R. = 0.29 y R.R.= 0.41, y de acuerdo con la clasificación que presenta Larios, (1979), para la relación de Runkel esta especie corresponde a muy buena calidad de pulpa para papel.

Para los otros índices de calidad no se conoce una clasificación; sin embargo, comparando con los valores de índices de calidad de otras especies, se puede tener una mejor apreciación de qué tan altos o bajos se encuentran los valores de los índices obtenidos.

Comparando los valores de índices de calidad para diversas especies (Cuadro 4) puede notarse que el coeficiente de flexibilidad corresponde un valor alto (C.F.= 0.71), al coeficiente de rigidez corresponde un valor bajo (C.R.= 0.29); al índice de esbeltez corresponde un valor alto (I.E.= 93), y finalmente a la relación de Runkel corresponde un valor bajo (R.R. = 0.41).

Los valores de coeficiente de flexibilidad y coeficiente de rigidez, obtenidos en el presente trabajo, difieren un poco con respecto a los valores reportados por Torres y Eguiluz (1989) para la misma especie, mientras que en el índice de esbeltez y en la

relación Runkel los valores son muy parecidos. Para explicar estos resultados, debe tenerse presente que los datos los índices del trabajo de Torres y Eguiluz (1989) las muestras se obtuvieron a 1.3 m a altura, exclusivamente, mientras que en el presente trabajo, el resultado es un promedio de diferentes alturas; además de la variación propia que debe existir dentro de cada especie.

Cuadro 4. Índices de calidad de madera para diversas especies de árboles forestales de acuerdo con las dimensiones de traqueidas.

Especies	CF.	CR.	IE.	RR.	AUTOR
<i>P.rudis</i>	0.71	0.29	93	0.41	Presente trabajo
<i>Guateria anomala</i>	0.82	0.17	62.54	0.20	Tamarit. (1996)
<i>Persea americana</i>	0.81	0.18	47.65	0.23	Tamarit. (1996)
<i>Tilia mexicana</i>	0.71	0.23	46.85	0.40	Tamarit. (1996)
<i>Fraxinus undhei</i>	0.67	0.32	35.96	0.47	Tamarit. (1996)
<i>Cedrela odorata</i>	0.63	0.36	62.36	0.57	Tamarit. (1996)
<i>Clethra mexicana</i>	0.60	0.40	66.65	0.66	Tamarit. (1996)
<i>P. patula</i>	0.60	0.39	70.56	0.65	Torres. y Eguiluz. (1989)
<i>P. Oaxacana</i>	0.59	0.40	72.28	0.66	Torres. y Eguiluz. (1989)
<i>P.rudis</i>	0.55	0.44	81.99	0.79	Torres. y Eguiluz. (1989)
<i>Arbutus xalapensis</i>	0.38	0.61	27.92	1.60	Tamarit. (1996)
<i>Quercus resinosa</i>	0.37	0.62	46.90	1.66	Tamarit. (1996)
<i>Prosopis laevigata</i>	0.33	0.66	73.00	2.00	Tamarit.(1996)
<i>Quercus crausifolia</i>	0.23	0.76	80.42	3.20	Tamarit. (1996)

CF= coeficiente de flexibilidad, CR= coeficiente de rigidez, IE= índice de esbeltez, RR= relación de Runkel.

Los índices de calidad son muy importantes para determinar la calidad de papel, ya que son indicadores de la densidad, la resistencia a la fuerza de tensión, de explosión y de rasgado (Tamarit, 1996). Larios, (1979) menciona que al índice de rigidez se le ha encontrado una influencia muy importante en la resistencia al rasgado, esta resistencia es una de las variables que más influyen directamente en las pulpas sin batir. La relación de Runkel es la que se emplea para clasificar la

calidad de pulpa en cinco grados: excelente, muy buena, buena, regular, mala. El coeficiente de flexibilidad tiene relación directa con las pulpas de kraff, dando mayores resistencias a la explosión y a la tensión en las pulpas sin batir, también se encuentra relacionado directamente con la resistencia al doblar del papel. El índice de esbeltez, tiene una significancia con el rasgado y en la densidad de la hoja. Por lo tanto, la madera de esta especie se puede considerar de buena calidad y útil para la elaboración de pulpa para papel. Sin embargo, debe tenerse presente que cada tipo de papel requiere de ciertos estándares de materia prima (traqueidas), así por ejemplo Zobel y Van Buijtenen (1989) señalan que las traqueidas de mayor grosor de su pared celular incrementan la resistencia al desgarre, pero reduce la resistencia a la tensión y rompimiento, mientras que traqueidas con diámetro más pequeño usualmente proporcionan mayor resistencia a las propiedades del papel y sugiere la selección de células de diámetro más pequeño y pared celular más delgada para mejorar su calidad.

Tamarit, (1996) señala que mediante el estudio de las características de las dimensionales de traqueidas se puede determinar la calidad del papel, pero es necesario considerar el tipo de papel que se quiera producir y, con base en ello, seleccionar la madera que tenga fibras con las dimensiones requeridas para producirlo.

Las medidas de dispersión, presentadas en el Cuadro 2, muestran que para las tres variables (ancho de traqueidas, ancho de lumen, y grosor de la pared) existe un intervalo que se puede considerar grande, lo cual indica que existe una alta

variabilidad de las dimensiones transversales de traqueidas en los árboles analizados de *Pinus rudis*. Lo anterior puede notarse de manera más fácil a través del coeficiente de variación, los cuales fueron de 19.2, 25.5 y 20% para ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared, respectivamente. López, (1997) realizó un estudio de la densidad de la madera de esta especie y reportó un coeficiente de variación de 11.47%, mientras que Rodríguez, (1998) estudió la longitud de traqueidas de esta misma especie, reportando un coeficiente de variación de 33.5%, de modo que al comparar los valores de coeficiente de variación obtenidos en este trabajo con los anteriores se nota que son mayores respecto a la densidad de la madera y menores respecto a largo de traqueidas. Esto indica que se podrían utilizar estas variables para uso en los programas de mejoramiento genético, dado que además de la alta variabilidad, también se conoce que existe un fuerte control genético para estas características en algunas especies donde se ha estudiado, así por ejemplo, algunos autores reportan valores de heredabilidad ( $h^2$ ) de 0.84 para grosor de la pared en madera tardía y para madera temprana de 0.15 en *Pinus taeda* (Zobel y Jett, 1995).

#### 4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza

En el Cuadro 5 muestra los análisis de varianza y los análisis de componentes de varianza para las variables ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular. Se puede notar claramente que todas las variables presentan diferencias altamente significativas al nivel de probabilidad  $\alpha = 0.01$ , tanto entre

árboles, alturas de rodajas dentro de árboles, como de secciones dentro de alturas de rodaja. Por lo tanto se puede decir que con una confiabilidad de 99% existen diferencias de las dimensiones transversales de traqueidas en las tres fuentes de variación, ente árboles, entre alturas del fuste dentro de árboles y entre secciones dentro de altura del fuste.

Por su parte, los componentes de varianza muestran que el mayor porcentaje de variación se presenta al nivel de error (54.33%, 70.05% y 62.37%, respectivamente), es decir, efectos aleatorios no considerados en este estudio para las tres variables, presentándose la contribución de los niveles entre árboles, altura de rodaja dentro de árboles y secciones dentro de alturas de manera diferente en las tres variables.

Los resultados obtenidos en este trabajo del análisis de varianza, la mayor variación se encontró en la fuente de error, como se mencionó anteriormente. Esto podría ser explicado debido a que no se consideraron todos los efectos de variación en este estudio, como podría ser variaciones ambientales (clima, vegetación, condición del suelo, topografía). Hernández, (1985) obtuvo resultados similares; él menciona que ésto posiblemente se deba a un tamaño de muestra pequeño que consideró en su trabajo.

Cuadro 5. Análisis de varianza y componentes de varianza para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

FV	Ancho de traqueidas					Ancho de lumen				Grosor de la pared				Esperanza de cuadrados medios
	GL	C.M	C.V.E	F.C	C.V.E%	C.M	C.V.E	F.C	C.V.E%	C.M	C.V.E	F.C.	C.V.E%	
A	4	6865.6	12.3	14.55**	22.9	2549.5	4.2	7.09 **	9.51	334.5	0.57	22.28**	19.86	$\sigma^2_e + 37.943 \sigma^2_c(a,b) + 87.26 \sigma^2_b(a) + 588.46 \sigma^2_a$
H.R	3	262.3	0	9.01**	0	286.3	0	9.25 **	0	26.7	0.15	14.84**	5.23	$\sigma^2_e + 36.804 \sigma^2_c(a,b) + 76.886 \sigma^2_b(a)$
N.S	40	471.7	12.2	16.2**	22.7	359.3	9.0	11.61**	20.45	15.0	0.36	8.35**	12.54	$\sigma^2_e + 36.351 \sigma^2_c(a,b)$
E	2673	29.1	29.1		54.33	30.9	70.05		70.05	1.8	1.79		62.37	$\sigma^2_e$
TOTAL	2747													

FV = fuente de variación; GL = grados de libertad; C M = cuadrados medios; C.V.E = componente de varianza estimado; C.V. E. % = componente de varianza estimado en porcentaje; F.C = F. calculada; A = árboles; H.R. = alturas de rodajas dentro de árboles; N.S = secciones de rodajas; E = error;  $\sigma^2_e$  = varianza del error;  $\sigma^2_a$  = varianza entre árboles;  $\sigma^2_b$  = varianza entre altura de rodajas;  $\sigma^2_c$  = varianza entre secciones; \*\*= altamente significativas.

Para la variable ancho de traqueida se tiene que el componente de mayor variación fue atribuido al efecto de error con un valor de 54.33%; siguiendo el efecto de árboles con un 22.9%, y con un valor más o menos similar de 22.7% el efecto de las secciones dentro de cada altura del fuste, mientras que la altura de rodaja dentro de árboles no contribuyó con ningún porcentaje (0%).

Asimismo la variable ancho de lumen muestra que la mayor contribución a la variación se presenta al nivel de error con un valor de 70.05% mientras el 9.51% de la variación se debe el efecto de árboles; el 20.45% se debe el efecto de las secciones dentro de cada altura del fuste; el efecto de altura de rodaja dentro de árboles no contribuyó con nada (0%), de manera semejante que en la variable ancho de traqueida.

Finalmente, el grosor de la pared celular demostró que el mayor porcentaje de variación se presenta también al nivel de error con un valor de 62.37%; el 19.86% se debe al efecto de árboles, el 12.54% se debe al efecto de secciones dentro de cada altura del fuste, mientras que el efecto de altura de rodaja dentro de árboles contribuye con un valor de 5.23%.

En las variables ancho de traqueida y ancho de lumen donde se encontró que el efecto de altura de rodaja dentro de árboles, no contribuyó con nada a la variación total, dicha situación debe considerarse con cautela, ya que se trata de estimaciones a partir de muestras aleatorias, las cuales por su propia naturaleza tienen errores de estimación; también podría deberse a que en el porcentaje que explica la fuente de

variación secciones dentro de altura de rodajas pudiera estar implícitamente explicada la fuente de altura de rodaja, por ser un efecto anidado.

Los anteriores resultados significan que la variabilidad de las tres dimensiones transversales de traqueidas estudiadas son muy variables, se podría seleccionar los mejores árboles, las mejores trozas en diferentes alturas así como las mejores secciones de cada troza para obtener productos de diferentes calidades de la madera para posteriormente utilizarlo como materia prima para las industrias o para la obtención de madera aserrada.

#### 4.3 Variación de las dimensiones transversales de traqueidas dentro del árbol

Con el propósito de conocer el comportamiento del patrón de variación para las tres variables ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular, dentro del árbol de *Pinus rudis* en la localidad Sierra las Alazanas, se obtuvieron los valores promedio para cada una de las secciones. Tales valores promedio muestran para las tres variables, alta variabilidad, tanto en la sección transversal como longitudinal del árbol.

Para la característica ancho de traqueida (Figura 3) puede notarse que los valores promedio que presenta son muy variables en ambos sentidos del árbol, longitudinal y transversalmente, con valores que van de 32.75 micras en la altura 0.30 m y sección 0-5 cm hasta 41.07 micras en la altura de 5.38 m y sección de 10-15 cm, como valores mínimo y máximo, respectivamente.

VER EL ARCHIVO Graf 2. DOC.

También en esta figura se observa que en la sección más cercana a la médula (0-5 cm) de todas las alturas, se concentran los valores más bajos y los valores se incrementan hacia la corteza.

Para la variable ancho de lumen (Figura 4) se aprecia que los valores promedio también son muy variables tanto en sentido longitudinal como transversal del árbol, con valores que van de 23.00 a 30.48 micras con valores mínimos y máximos, respectivamente. Se observa que también en la altura 0.30 m, se encuentra el valor más bajo de 23.00 micras, pero de la sección 15-20 cm. En las demás alturas se encuentran los valores más bajos en las secciones de 0-5 cm, mismos que van en aumento hacia la corteza; también se nota que los valores aumentan de la base del árbol hacia la parte media, disminuyendo un poco hacia la parte del ápice.

Para la variable grosor de la pared celular (Figura 5) también puede observarse que los valores promedios que presenta son muy variables, tanto en sentido longitudinal como transversal del árbol, con valores que van desde 4.43 micras en la altura de 18.08 m y sección 0-5 cm hasta 6.58 micras en la altura 2.84 m sección de 15-20 como valores mínimo y máximo, respectivamente.

Puede notarse que en el eje longitudinal del árbol en la sección 0-5 cm (cerca de la médula) en todas las alturas se concentran valores más bajos, mismos que tienden a estabilizarse un poco en la parte media del árbol, luego aumentan un poco en la parte más alta del árbol, después tienden a disminuir en la punta del árbol.

VER EL ARCHIVO DE Graf 2. DOC.

VER EL ARCHIVO Graf 2. DOC.

Como se puede observar, las dimensiones transversales de traqueidas varían ampliamente dentro del árbol, desde la médula hacia el exterior y de la parte proximal hasta la parte distal del árbol.

En otras variables como densidad de la madera y largo de traqueidas se ha estudiado la variación dentro del árbol, encontrándose también una fuerte variación. Así por ejemplo, en *Pinus cembroides* se ha estudiado la densidad de la madera y el largo de traqueidas (Vaca, 1992); en *Pinus rudis* se ha estudiado la densidad de la madera (López, 1997) y el largo de traqueidas (Rodríguez, 1998).

Este patrón de variación se explica por la formación de madera juvenil durante las primeras etapas del árbol donde se encuentran traqueidas de diámetro menor, paredes delgadas por la presencia de madera juvenil. Así se encontró que los valores promedio de las dimensiones transversales de traqueidas que aumentan desde la médula hacia la corteza del árbol. Este puede deberse a la madera joven que se produce cerca de la médula y puede permanecer hasta 20 años en algunas coníferas, habiendo un rápido incremento en la longitud de traqueidas durante el desarrollo o periodo juvenil, después del cual esta propiedad es relativamente constante por unos años. La formación de madera joven está controlada por la producción de auxinas en la copa del árbol; a su vez la producción de auxinas está afectada por factores ambientales externos como el fotoperiodo (Zobel y Talbert, 1988).

#### 4.3.1 Variación en el eje transversal del árbol

Para determinar el patrón de la variación para las tres variables ancho de traqueida, ancho de lumen, y grosor de la pared celular, en su sección transversal del tronco, se obtuvieron los valores promedio respectivos.

El ancho de traqueidas muestra una tendencia, de los valores promedio, de aumentar del centro hacia la periferia del árbol (Figura 6), se observa el valor más bajo en la primera sección cerca de la médula y el valor más alto en la tercera sección del centro a la periferia del árbol, en la última sección el valor promedio decrece ligeramente.

El patrón más común reportado para el ancho de traqueidas en la sección transversal en coníferas, es de un aumento de la médula hacia la corteza, como se señala para *Pinus patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana*, *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989), *P. hartwegii* (Hernández, 1985; Larios, 1979) y *Abies religiosa* (Larios, 1979).

En general en las coníferas, las características de la madera, como la densidad de la madera y otras propiedades es común encontrar una tendencia que va en aumento desde la médula hacia la periferia del tronco (Hocker, 1984) así como el diámetro de las traqueidas, donde el diámetro más pequeños se encuentra cerca de la médula y a medida que se alejan de ella el diámetro aumenta, sin embargo se estabiliza a cierta edad, debido que se relaciona directamente con el desarrollo del

VER EL ARCHIVO Fig.6 CH3

árbol. La ligera disminución en la última sección se puede atribuir al hecho de que las muestras corresponden a un solo árbol que es el que tenía mayores dimensiones.

Para el ancho del lumen los valores promedio por sección, en las primeras secciones parecen aumentar muy ligeramente, los que podrían considerarse como valores casi constantes, posteriormente disminuyen hacia la periferia (Figura 6).

En el caso del ancho de lumen, el patrón más común reportado para la sección transversal en coníferas, es de un decremento de la médula hacia la corteza, como se señala para *Pinus patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana*, *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989), *P. hartwegii* (Hernández, 1985). Sin embargo, Larios, (1979) reporta un patrón diferente, esto es, un aumento del centro hacia la periferia del árbol, para *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa*, pero incluyendo tanto madera tardía como madera temprana.

Para el ancho de lumen la mayoría de las especies forestales estudiados por diferentes autores han encontrado que los valores van en decremento desde la médula hacia la corteza, excepto Larios, (1979) quien encontró otra tendencia un aumento de la médula hacia la corteza debido que él midió en forma indistinta traqueidas de madera tardía y temprana la cual presenta una mayor variabilidad en las traqueidas. Se puede explicar que se debe a la influencia de la edad del árbol y a la vez está relacionado con la tasa de crecimiento de los árboles. En general, la

mayor parte de la variación parece que se debe a la posición de la madera en el árbol y a la edad en la que se obtiene la madera ( Libby, 1967).

El grosor de la pared presenta una tendencia muy definida de incremento de la médula hacia la corteza (Figura 6). Este patrón es similar al reportado para diversas especies de coníferas, tales como *Pinus patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana* , *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989), *P. hartwegii* (Hernández, 1985; Larios, 1979) y *Abies religiosa* (Larios, 1979).

En la madera de las coníferas, el grosor de la pared de las traqueidas se incrementa en dirección radial de la médula hacia la corteza del árbol, lo cual está estrechamente relacionado con el crecimiento del árbol.

#### 4.3.2 Variación en el eje longitudinal

En el eje longitudinal (Figura 7) se encontró para las tres variables de las dimensiones transversales de traqueidas que los valores promedios se incrementan de la base hacia la parte alta del árbol, pero sin seguir algún patrón bien definido. En la Figura 7 puede observarse claramente que el ancho de traqueidas aumenta ligeramente de la base del árbol a 0.30 m, donde se encontró el valor más bajo de 35.02 micras, hacia la parte media de la altura del árbol a 10.46 m, donde se encuentra el valor más alto de 37.97 micras, y disminuye sensiblemente hacia la punta del árbol.

VER EL ARCHIVO Fig 7. CH3

Para el ancho de lumen en la (Figura 7) también se puede notar que los valores promedios van en aumento de la base del árbol a 0.30 m hacia la parte media a 10.46 m alcanzando un valor de 27.71 micras, después tiende a disminuir hasta las alturas de 13.00 m y 15.54 m, con valores de 25.90 micras y 26.62 micras y aumenta moderadamente en la punta del árbol.

En la Figura 7, se observa el valor que el promedio del grosor de la pared celular se mantiene casi constante desde la base del árbol a 0.30 m hasta a 10.46 m aumenta un poco a los 13.00 m donde se encontró el valor más alto de 5.97 micras y luego tiende a disminuir en la punta del árbol.

Para las tres variables, el patrón de variación obtenido en este trabajo en el eje longitudinal presenta un incremento de la base hacia la parte alta del árbol, pero sin seguir algún patrón bien definido. El patrón encontrado en otras características es más o menos similar como la longitud de traqueidas en *P. cembroides* y en *P. rudis*. (Vaca, 1992; Rodríguez, 1998) y en densidad de la madera (López, 1997).

Para las variables ancho de traqueida y ancho de lumen el comportamiento de los valores de variación mostraron que las traqueidas que tienen menor ancho se encuentran en la base del árbol, a partir de donde se mantienen constante y luego disminuyen en la parte superior del árbol. Para el grosor de la pared de los valores variación mostraron que las traqueidas de mayor diámetro se concentran en la base del árbol, a partir de donde fue disminuyendo ligeramente hacia la parte superior de árbol.

Este patrón de variación en el eje longitudinal pudiera tener su explicación por el hecho de que en la formación de las primeras etapas de desarrollo del árbol la madera juvenil forma traqueidas de menores dimensiones y éstas aumentan conforme cambia la edad del árbol y se forma la madera madura, como lo ha reportado Early (1967) para el largo de traqueidas, y pudiera suceder algo parecido con las dimensiones transversales de las mismas.

Bidwell (1983) menciona que en la actividad cambial, las auxinas se difunden o son transportadas desde el ápice a toda la planta de manera que la concentración auxínica tiende a ser mayor cerca de la copa y menor en la base. Así mismo Daniel *et al.* (1988) explican que la proporción de la copa viva de los árboles define la posición en la cual se producen las auxinas y los carbohidratos, y la presencia y relativa abundancia de estas sustancias ejercen una fuerte influencia sobre la cantidad de la madera juvenil. En general se puede decir que la formación de la madera juvenil es controlada por la producción de auxinas desde la primera etapa de crecimiento del árbol hasta su estado maduro.

#### 4.4 Correlación entre las dimensiones transversales de traqueidas, densidad de la madera y el largo de traqueidas

En el Cuadro 6 se muestran los valores generales de correlación para las variables densidad de la madera (DM), longitud de traqueidas (LT), ancho de traqueidas (AT), ancho de lumen (AL) y grosor de la pared (GP), de la madera tardía de *Pinus rudis* de Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

Cuadro 6 · Valores de correlación general, entre las variables densidad de la madera longitud de traqueidas, ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular dentro y entre árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

	LT	AT	AL	GP
DM	0.56**	0.50*	NS	0.46*
LT		0.43*	NS	0.47*
AT			0.88**	0.75**

DM= densidad de la madera, LT = longitud de traqueidas, AT = ancho de traqueidas, AL= ancho de lumen, GP= grosor de la pared, \*\* = altamente significativas, \* = significativa, NS = no significativa.

La densidad de la madera presentó una correlación positiva con longitud de traqueidas ( $r=0.56$ ), con ancho de traqueidas ( $r=0.50$ ) y con grosor de la pared ( $r=0.46$ ). Dicho resultado indica que a medida que aumenta el tamaño de las traqueidas (largo, ancho y grosor de la pared) aumenta la densidad de la madera.

Estudios previos indican que tanto la densidad de la madera como el largo de traqueidas al parecer son dos variables independientes o con una correlación muy ligera, así por ejemplo, en *Pinus taeda* Zobel *et al.* y Posey encontraron una correlación negativa ( $r= -0.16$ ); mientras Schmidt y Smith no encontraron ninguna correlación entre estas dos variables en *P. caribaea*, a su vez Zobel *et al* encontraron una correlación entre la densidad de la madera y al grosor de la pared en *P. taeda*, además, ellos establecieron una correlación entre densidad de la madera y ancho de traqueida ( $r=-0.58$ ). En general, en estudios de coníferas, Larson establece que el diámetro radial del lumen y diámetro tangencial del grosor de la pared se encuentran estrechamente correlacionado con la densidad de la madera (Zobel y van Buijtenen, 1995).

Zobel y Talbert (1988) señalan que la densidad de la madera es una característica compleja que depende de otras variables, así, la mayor proporción de madera tardía, el menor tamaño de las células (ancho de traqueidas) y el mayor grosor de la pared celular generarían mayor densidad de la madera. De acuerdo con lo anterior, se esperaría que la densidad de la madera presentara una correlación positiva con grosor de la pared y negativa con el ancho de traqueidas. En el presente estudio se cumplió para el grosor de la pared, pero no así para el ancho de traqueidas.

El largo de traqueidas, ancho de traqueidas y el grosor de la pared se asociaron de manera positiva entre ellas ( $0.43 \leq r \leq 0.75$ ), lo cual indica cuando aumenta el ancho de traqueida y grosor de la pared celular incrementa el largo de traqueidas.

En un estudio realizado por Zobel *et al.* se encontraron una correlación positiva en *P. taeda* entre el largo de traqueidas y ancho de traqueidas  $r=0.44$  en y entre el largo de traqueidas y grosor de la pared ( $r=0.49$ )(Zobel y Jett, 1995).

El largo de traqueidas se correlacionó con el ancho de traqueidas y grosor de la pared, aunque el largo de traqueidas es independiente de las otras variables, esto explica que probablemente se deba a la influencia de la edad porque a medida que se van desarrollando las traqueidas, van variando conforme va crece el árbol en diferentes etapas de su desarrollo.

El ancho de lumen únicamente se asoció con el ancho de traqueidas ( $r=0.88$ ). El ancho de lumen es una característica que depende tanto del ancho de traqueidas como del grosor de la pared, es decir, se esperaría que se asociará de manera positiva con ancho de traqueidas y de manera negativa con grosor de la pared. El hecho de encontrar únicamente correlación con ancho de traqueidas se debe muy probablemente a que es esta característica es la que tiene mayor influencia en comparación con el grosor de la pared.

#### 4.4.1 Correlación de las variables en la sección transversal

En el Cuadro 7 se presentan las correlaciones para los valores promedio de la sección transversal, de las variables densidad de la madera (DM), ancho de traqueidas (AT), ancho de lumen (AL) y grosor de la pared celular (GP), dentro y entre árboles de *P. rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

Cuadro 7. Valores de correlación en la sección transversal de las variables densidad de la madera, ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared celular de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

	AT	AL	GP
DM	0.71**	0.58*	0.75**
AT		0.95**	0.93**
AL			0.75**

DM = Densidad de la madera, AT= Ancho de traqueida, AL =Ancho de lumen, GP= grosor de la pared, \*\* = Altamente significativo, \* = Significativo.

En la sección transversal el largo de traqueidas no se correlacionó con ninguna de las otras variables, lo cual indica que esta variable es independiente de las otras, al menos en esta dirección del árbol, o bien, podría deberse a la menor cantidad de datos.

Las otras variables presentan una correlación positiva entre ellas, de moderada a fuerte ( $0.58 \leq r \leq 0.95$ ), lo cual indica que en la parte cercana a la médula se encuentran traqueidas de menor tamaño, menor grosor de la pared y menor ancho de lumen que generan madera de menor densidad, mientras que en la parte cercana a la corteza sucede lo contrario.

#### 4.4.2 Correlación de las variables en la sección longitudinal

En el Cuadro 8 se presentan los valores de correlación de la sección longitudinal de las variables densidad de la madera (DM), ancho de traqueidas (AT), ancho de lumen (AL) y grosor de la pared (GP), dentro y entre árboles de *P. rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

Cuadro 8. Valores de correlación en la sección longitudinal, densidad de la madera, ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular de *Pinus rudis* Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

	AT	AL	GP
DM	0.36*	NS	0.54**
AT		0.87**	0.74**
AL			0.32**

DM = Densidad de la madera, AT= Ancho de traqueidas, AL = Ancho de lumen, y GP = Grosor de la pared, \*\* = Altamente significativa, \* = significativa

En la sección longitudinal, el largo de traqueidas tampoco se correlacionó con ninguna de las otras variables, lo cual puede explicarse por las mismas causas que en la sección transversal, esto es, que esta variable es independiente de las otras, al menos en esta dirección del árbol, o bien, podría deberse a la menor cantidad de datos.

La densidad de la madera se correlacionó de manera positiva y moderada con el ancho de traqueidas ( $r=0.36$ ) y con el grosor de la pared ( $r=0.54$ ), no así con el ancho de lumen. Lo cual indica que la densidad de la madera está fuertemente influenciada por el ancho de traqueidas y el grosor de la pared celular, aún cuando no exista un patrón bien definido en este eje del árbol.

Por otra parte, el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared se correlacionaron de manera positiva entre ellas ( $0.32 \leq r \leq 0.87$ ). Lo cual indica que estas tres variables se asocian de manera positiva, siendo que cuando aumenta el ancho de traqueidas aumenta también el ancho de lumen y grosor de la pared. Esto puede tener su explicación con el hecho de que a medida que crece el ancho de traqueidas el ancho de lumen crece también, posteriormente el diámetro tiende a estabilizar su crecimiento y el grosor de la pared se empieza a engrosar a un ritmo mayor y va aumentando a medida que se va desarrollando.

## V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los valores promedios de ancho de traqueidas (36 micras), el ancho de lumen (25.5 micras) y el grosor de la pared (5.3 micras) obtenidos en este trabajo corresponden a traqueidas extremadamente anchas de diámetro, extremadamente ancho de lumen y extremadamente gruesa de la pared celular.

Los valores de índice de calidad para esta especie obtenidos en este trabajo son: un coeficiente de flexibilidad de 0.71; un coeficiente de rigidez de 0.29; un índice de esbeltez de 93 y una relación de Runkel de 0.41. con base en estos resultados obtenidos en este trabajo la madera de esta especie analizada es considerada de muy buena calidad de pulpa para papel.

Existen diferencias altamente significativas para las características ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared celular dentro y entre árboles maduros de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Municipio de Arteaga, Coahuila.

El patrón de la variación en el eje transversal de ancho de traqueidas, ancho de lumen los valores promedios se incrementan del centro hasta la tercera sección y posteriormente disminuye ligeramente en la cuarta sección y el grosor de la pared los valores promedio van incrementando del centro hacia la periferia del árbol.

El patrón de variación de las variables ancho de traqueida y ancho de lumen en el eje longitudinal, van a incrementar ligeramente desde la base hasta la parte superior del árbol, en cuanto el grosor de la pared va en disminución muy pequeña desde la base hacia la parte superior del árbol.

Se presentaron valores de correlación positivos entre las variables densidad de la madera, longitud de traqueida, ancho de traqueidas y el grosor de la pared ( $0.46 \leq r \leq 0.56$ ), a nivel general.

Los valores de la correlación en la sección transversal, ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared presentaron una correlación de madera positiva entre ellas, de moderada a fuerte ( $0.58 \leq r \leq 0.95$ ).

En cuanto los valores de correlación en la sección longitudinal, la densidad de la madera se correlacionó de manera positiva y moderada con el ancho de traqueidas ( $r=0.36$ ) y con el grosor de la pared ( $r=0.54$ ). En cuanto el ancho de traqueida, ancho de lumen y el grosor de la pared, también se correlacionaron en forma positivas entre ellas ( $0.32 \leq r \leq 0.87$ ).

En este trabajo se hacen las siguientes recomendaciones:

Es necesario seguir realizando estudios de dimensiones transversales de traqueidas de diferentes especies de género *Pinus*, especialmente en aquellas que son comercialmente importantes.

Asimismo se recomienda hacer estudios de las dimensiones transversales de traqueidas en toda el área de distribución de la especie, para definir mejor la variación de estas características.

También coordinar estudios de la variación natural de las características de la madera con estudios de maquinado y tecnología de la madera, en la mayor cantidad de especies forestales, para un mejor uso de la madera de cada especie.

## VI LITERATURA CITADA

- Beristain B., J.J. 1992. Variación morfológica y anatómica de acículas de *pinus greggii* Engelm. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 79 p.
- Bidwell, R. G. S. 1983. Fisiología vegetal. A. G. T. Editor. S. A. México. 784 p.
- CETENAL, 1976. Carta geológica G14C35. San Antonio las Alazanas. Escala 1:50,000.
- CETENAL, 1977. Carta edafológica G14C35. San Antonio las Alazanas. Escala 1:50,000
- Cochran, G. W. 1982. Técnicas de muestreo. CECSA. México. 513 p.
- Cronquist A, 1977. Introducción a la botánica programada. CECSA México. 665 p.
- Curtis, P. J. 1986. Microtecnia vegetal. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Chapingo. México. 106 p.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura Editorial McGraw-Hill. México. 492 p.
- De la Loma, J. L. 1982. Genética general y aplicada. Editorial UTEHA S. A. 752 p.
- DETENAL, 1976. Carta de Uso del Suelo. G14C35. San Antonio las Alazanas. Escala 1:50,000
- Eguiluz, P. T. 1978. Ensayo de integración sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 623 p.
- Esau, K. 1976. Anatomía vegetal. Segunda edición. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 779 p.
- Fahn, A. 1978. Anatomía vegetal. 2ª. Edición. Blume H. Madrid, España. 643 p.
- Feria, P. S. y T. Eguiluz P. 1989. Variación natural en longitud y dimensiones transversales de las traqueidas en *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* y *Pinus michoacana* var. *cornuta* de la Sierra Chatina, Oaxaca. En: Memoria del Congreso Forestal. Tomo II. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarios del Distrito Federal, INIFAP. SARH. Toluca, México. pp 1030 – 1060.

- Freese, F. 1969. Muestreo forestal elemental. Boletín de Agricultura No.232 USDA. 96 p.
- Furnier, R. G. 1997. Métodos para medir la variación genética en las plantas. En Vargas H., J. J., B. Bermejo V. y F. T. Ledig (eds.). Manejo de Recurso Genéticos Forestales. Colegio de postgraduados y Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp 23- 48.
- García, E. 1978. Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen 4ª Edición. Instituto de Geografía, UNAM. México. 217 p.
- García, C. B. Bermejo. V. y H. Ramírez. M. 1975. Determinación de la ganancia genética en *Eucalyptus camaldulensis* Denh. mediante estudios de procedencia. Revista Chapingo XV (75) : 34 - 39.
- Hernández, M. H. 1985. Variación natural de *Pinus hartwegii*: dimensiones transversales de las traqueidas en un transecto altudinal de Zoquiapan. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 59 p.
- Hernández, G., J. J. 1991 Variación morfológica de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis* (Martínez) Andresen de Oaxaca y Chiapas. Revista. Chapingo. XV (75): 25 - 33.
- Hocker, H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT. Editor, S.A. México. 446 p.
- Hunt, M. G. Y G. Garrat A. 1982. Preservación de la madera. Editorial. SALVAT. Barcelona, Madrid, España. 486 p.
- INEGI. 1990. Guía para la interpretación de Cartografía. Edafología. 2ª Impresión. Aguascalientes, México. 48 p.
- INEGI. 1992. Carta topográfica. G14C35 San Antonio las Alazanas, Coahuila. Escala: 1:50,000.
- Infante G., S y G. P. Zárate de L. 1990. Métodos estadísticos. 2ª Edición. Trillas. México. 643p.
- Jara N., L. F. 1995. Mejoramiento forestal y conservación de recurso genético forestal. Manual técnico No.14. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. Turrialba, Costa Rica. 177 p.
- Larios S., P. 1979. Indices de calidad de pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Libby , C. E. 1967. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel CECSA. México. 534 p.

- López, A. F. 1997. Variación en densidad de la madera entre y dentro de árboles de *P. rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo. Coah. México. 55 p.
- Martínez. M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª. Ediciones Botas. México. 361 p.
- Mendoza H., J.M. 1983. Diagnóstico climático para la zona de influencia inmediata de la U.A.A.A.N.
- Mettler. E., L. y T. G. Gregg. 1979. Genética de poblaciones y evolución. Editorial. UTEHA. México. 348 p.
- Morales, B. S. 1995. Variación de caracteres morfológicos y anatómicos de acículas en poblaciones naturales de *pinus engelmannii* Carr. y *pinus cooperi blanco*. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 93 p.
- Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. En: Memoria mejoramiento genético y plantaciones forestales. Centro de Genética Forestal, A.C. Chapingo, México. 60 p.
- Ortega, F., L. Guerrero, T. Carmona y C. Córdoba. 1988. Anatomía de la madera de veintiocho especies de Cosautlan de Carvajal, Veracruz. Boletín Técnico La madera y su uso No. 19. LACITEMA: México. 206 p.
- Ozorio F., P. 1972. Curso de muestreo y aplicaciones. Ediciones AGUILAR. Madrid España. 375 p.
- Pérez. O. C., de la Paz, y P. Olvera. C. 1980. Anatomía de la madera de 16 especies de Coníferas. Boletín técnico No. 69 INIF México. 111 p.
- Perry , J. P. 1990. The pines of México and America Central. Timber Press, Inc. Portland, Oregon. USA. 563 p.
- Robles, F. F. Echenique M. P. y V. 1983. Estructura de la madera. Editorial. Limusa. México. 367 P.
- Rodríguez, V., E. 1998. Variación de largo de traqueidas dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. México. 52 p.
- Roth. Y. 1964. Microtecnia vegetal. Facultad de Ciencias. Universidad Central de Venezuela, Caracas, venezuela 89 p.
- Rzedowski, J. 1979. Flora fanerogama del valle de México. Editorial Continental México 69 p.

- Santiago E., M. A. y F. Ortega E. 1992. Anatomía de la madera de nueve especies Tropicales. Boletín técnico. La madera y su uso No.27 LACITEMA. México. 72 p.
- Santos, G. R. 1998. Variación morfológica y anatómica en hojas y conos de ocho localidades de pseudotsuga del Norte de México. 60 p.
- Stevenson. F., F. y T. R. Martens. 1980. Anatomía Vegetal. Editorial Limusa. México. 209 p.
- Tamarit, U. J. C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 especies de latifoliadas. Madera y Bosques. 2(2): 29 –41.
- Torres. P., A. y T. Eguiluz P. 1989 Variación natural de las dimensiones transversales de las traqueidas de cuatro especies de Pinos: *P. Patula*, *P. Michoacana*, *P.rudis*, *P. teocote* de la Sierra de Juarez Oaxaca. En: Memoria del Congreso Forestal. Tomo II. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarios del Distrito Federal, INIFAP, SARH. Toluca, México. pp 1062 – 1076 p.
- Torres E., L. y A. Cano P. 1993. Elaboración de tablas de volúmenes para *Pinus rudis* Endl. y *Abies vejarii* en Sierra de Arteaga Coahuila. Folleto Técnico SARH-INIFAP. Centro de Investigación Regional del Noreste. Campo Experimental Sierra de Arteaga. Arteaga , Coah. 14p.
- Vaca, G. A. 1992. Variación del peso específico de la madera y longitud de traqueida dentro de árboles de *Pinus cembroides* Zucc., de la región de Santiago, Papasquiario, Durango. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Zobel, B. J y J. B. Jett. 1995. Genetics of Wood production. Springer – Verlag. Germany 337 p.
- Zobel, B. J y J. P. Van Buijtenen 1989. Wood Variation: Its causes and control Springer – Verlag. Germany. 363 p.
- Zobel, B. J. y T. J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México. 545 p.

**APENDICE**

## Apéndice 1.

Cálculo de tamaño de muestra para cada sección a partir de la siguiente fórmula:

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2}$$

Datos de las secciones utilizadas como premuestreo.

Muestras	Ancho de traqueida		Ancho de lumen	
	$\bar{x}$ (micras)	$S^2$ (micras)	$\bar{x}$ (micras)	$S^2$ (micras)
1	17.8	20.46	22.05	43.05
2	35.15	16.73	19.7	42.81
3	32.65	20.33	18.1	12.19
4	43.9	40.39	27.25	28.68
5	38.95	31.85	25.95	20.95
6	39.85	11.13	31.65	39.53
7	19.2	12.26	25.1	26.49
8	31.9	25.49	20.35	12.41
9	26.25	2.28	27.75	34.18
10	35.1	13.29	29.55	27.75

Considerando  $t_{\alpha/2} = 4.38$ ,  $9 \text{ gl} = 2.262$  y  $E = 1.8$  micras se obtiene de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{Muestra 1} &= (4.38) (20.46) / 3.24 = 27.66 & (4.38) (43.05) / 3.24 = 58.19 \\
 \text{Muestra 2} &= (4.38) (16.73) / 3.24 = 22.62 & (4.38) (42.81) / 3.24 = 57.87 \\
 \text{Muestra 3} &= (4.38) (20.33) / 3.24 = 27.48 & (4.38) (12.19) / 3.24 = 16.47 \\
 \text{Muestra 4} &= (4.38) (40.39) / 3.24 = 54.60 & (4.38) (28.68) / 3.24 = 38.77 \\
 \text{Muestra 5} &= (4.38) (31.85) / 3.24 = 43.05 & (4.38) (20.95) / 3.24 = 36.43 \\
 \text{Muestra 6} &= (4.38) (11.13) / 3.24 = 15.05 & (4.38) (39.53) / 3.24 = 53.44 \\
 \text{Muestra 7} &= (4.38) (12.26) / 3.24 = 16.57 & (4.38) (26.49) / 3.24 = 35.81 \\
 \text{Muestra 8} &= (4.38) (25.49) / 3.24 = 34.46 & (4.38) (12.41) / 3.24 = 16.77 \\
 \text{Muestra 9} &= (4.38) (2.28) / 3.24 = 3.08 & (4.38) (34.18) / 3.24 = 46.20 \\
 \text{Muestra 10} &= (4.38) (13.29) / 3.24 = 17.96 & (4.38) (29.55) / 3.24 = 39.53
 \end{aligned}$$

Donde:

$\bar{x}$  = media de ancho de traqueida y ancho de lumen de traqueidas de los datos utilizados en el muestreo.

n= tamaño de muestra.

t= valor de t, a partir de un valor dado de alfa.

$S^2$ = varianza muestral.

$\sigma = 0.05$  (probabilidad de cometer error tipo 1)

gl = grados de libertad

E= error (expresado en unidades de medición).

## Apéndice 2.

Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas (micras) utilizado por Ortega *et al.* (1988).

Clasificación diámetro de traqueida	Valor en (micras)	Clasificación de diámetro de lumen	Valor en (micras)	Clasificación de grosor de la pared	Valor en (micras)
Extremadamente fina	De 10 o menos	Extremadamente fino	De 3 o menos	Extremadamente delgado	De 1.5 o menos
Muy fina	De más de 10 hasta 12	Muy fino	De más de 3 hasta 4	Muy delgado	De 1.5 hasta 2.0
Moderadamente fina	De más de 12 hasta 14	Moderadamente fino	De más de 4 hasta 5	Moderadamente delgado	De más de 2 hasta 3
Mediana	De más de 14 hasta 19	Mediano	De más de 5 hasta 10	Mediana	De más de 3 hasta 4
Moderadamente ancha	De más de 19 hasta 21	Moderadamente ancho	De más de 10 hasta 14	Moderadamente gruesa	De más de 4 hasta 5
Muy ancha	De más de 21 hasta 26	Muy ancho	De más de 14 hasta 19	Muy gruesa	De más de 5 hasta 7
Extremadamente ancha	De más de 26	Extremadamente ancho	De más de 19	Extremadamente gruesa	De más de 7

Altura de corte de traqueida por altura de traqueidas por altura y por sección (micras)

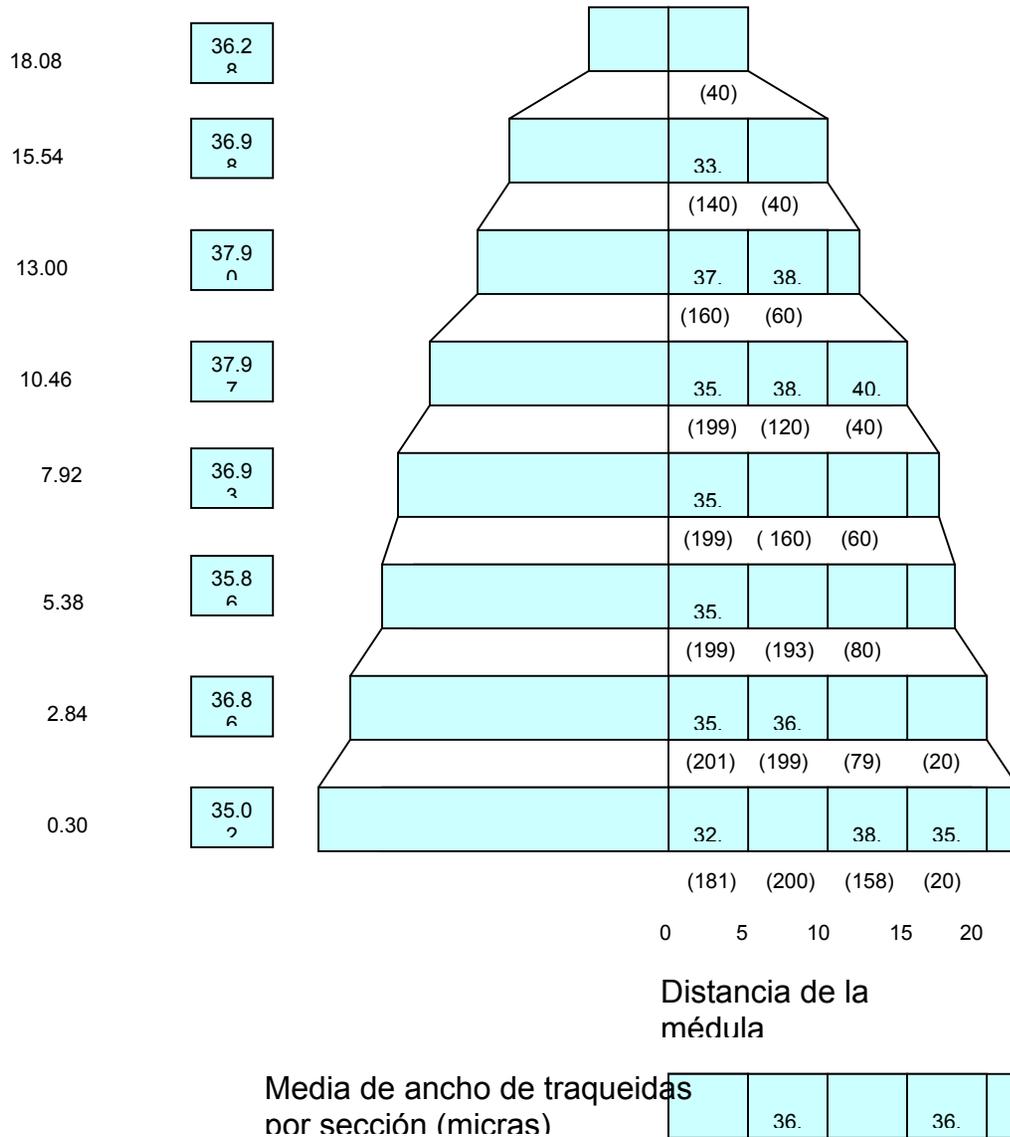


Figura 3. Representación esquemática de la variación del ancho de traqueidas dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.

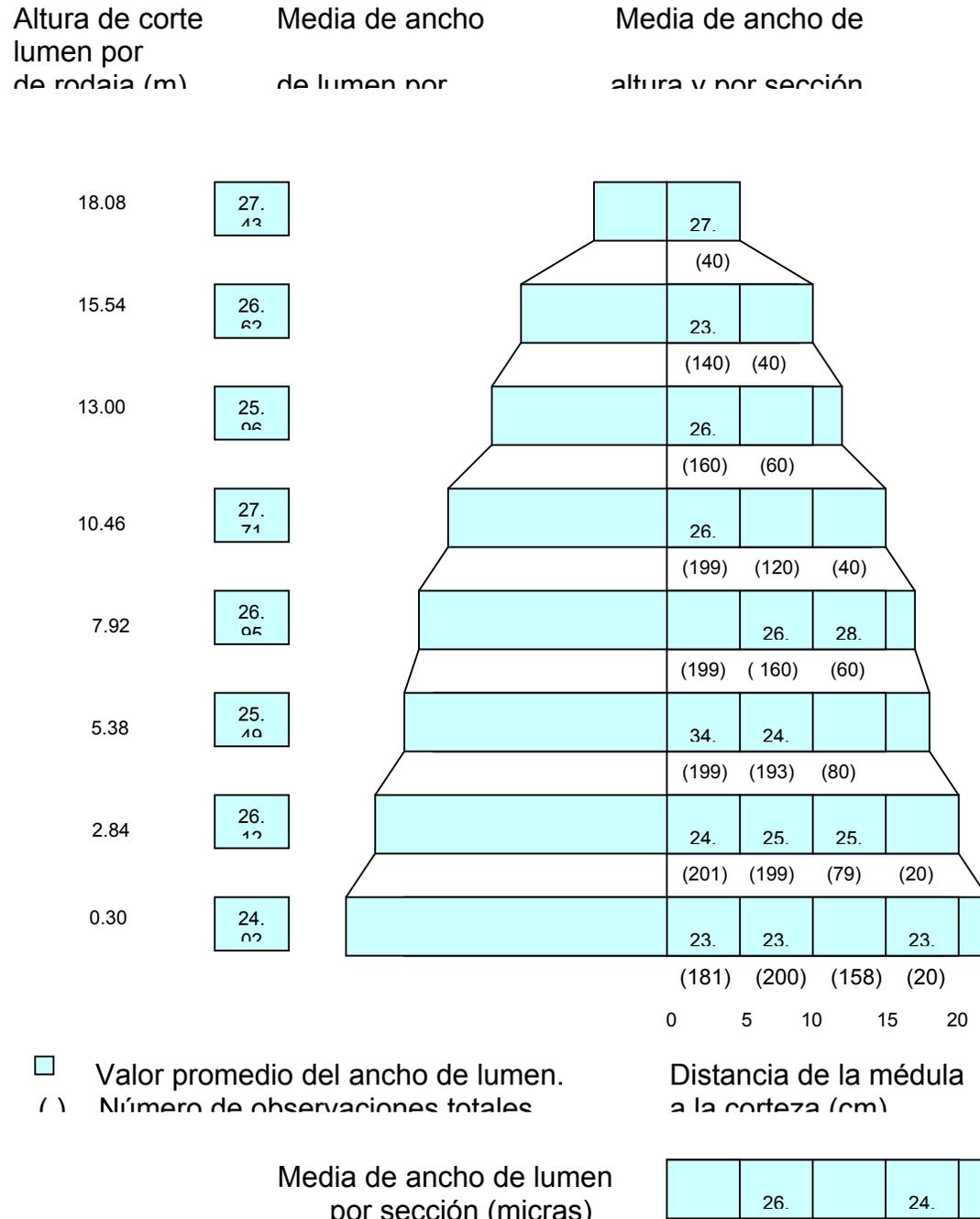


Figura 4. Representación esquemática de la variación del ancho de lumen dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alcazales, Artisan, Coch.

Altura de la pared corte de

Media de grosor de la pared por altura (micras)

Media de grosor de por altura y por

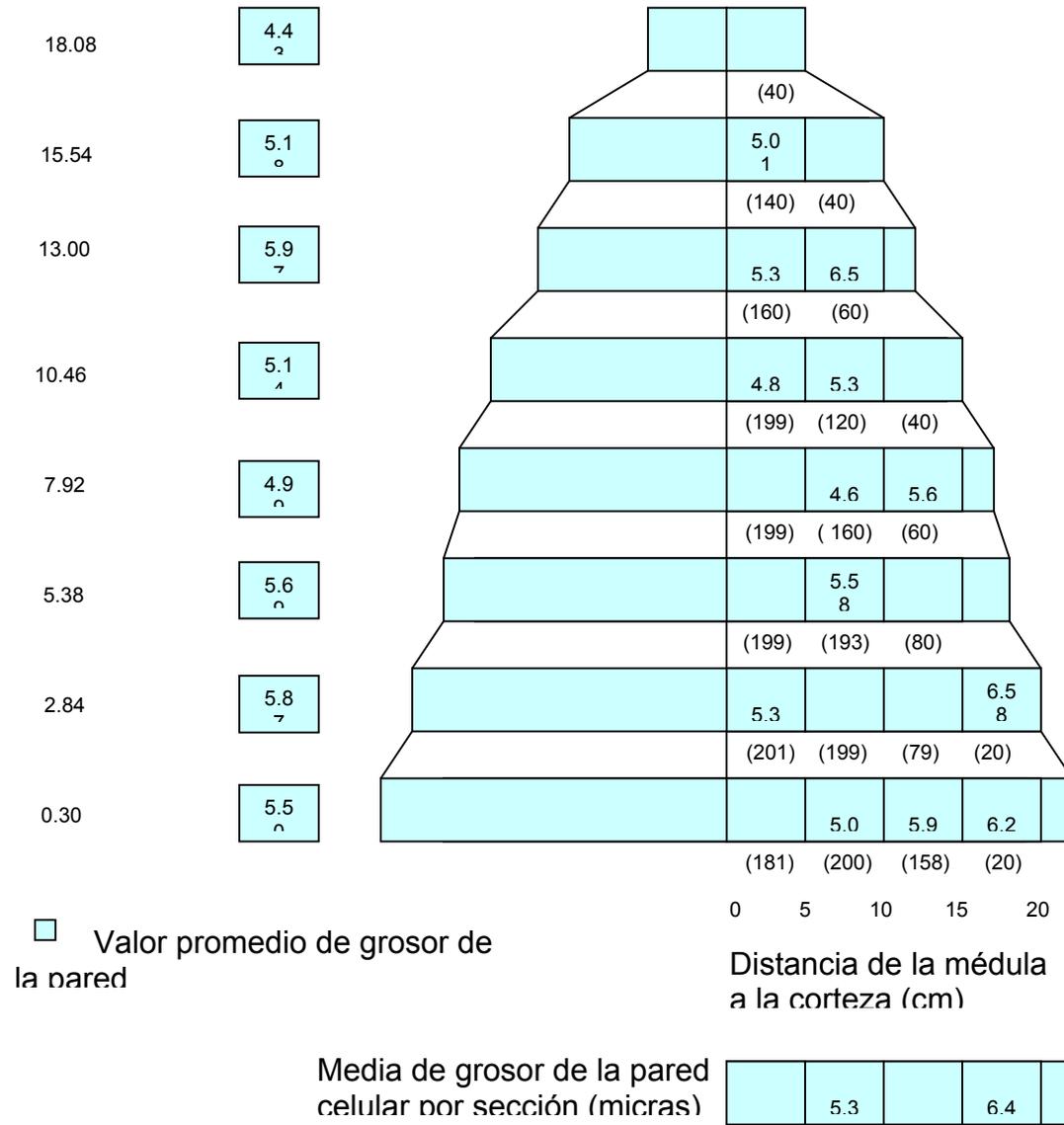


Figura 5. Representación esquemática de la variación de grosor de la pared celular dentro de árboles de *Pinus rudis* en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah.