UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DIVISIÓN DE CIENCIAS FORESTALES

DIRECCION ACADEMICA
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

PERFILES DE VARIACIÓN EN EL ÁRBOL, DE LA LONGITUD DE TRAQUEIDAS, DENSIDAD BÁSICA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONTRACCIONES VOLUMÉTRICAS Y LINEALES, DE LA MADERA DE *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw.

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS, EN CIENCIAS FORESTALES

PRESENTA:

JOSÉ RODOLFO GOCHE TÉLLES

Noviembre 1999

Chapingo, Texcoco, Edo. de México.

907301

PERFILES DE VARIACIÓN EN EL ÁRBOL, DE LA LONGITUD DE TRAQUEIDAS, DENSIDAD BÁSICA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONTRACCIONES VOLUMÉTRICAS Y LINEALES, DE LA MADERA DE *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw.

Tesis realizada por **José Rodolfo Goche Télles** bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIAS FORESTALES

DIRECTOR: _____
M. C. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR: _____ 34886
DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR: _____
DR. HUGO RAMIREZ MALDONADO

PERFILES DE VARIACIÓN EN EL ÁRBOL, DE LA LONGITUD DE TRAQUEIDAS, DENSIDAD BÁSICA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONTRACCIONES VOLUMÉTRICAS Y LINEALES, DE LA MADERA DE *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham Y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw.

El jurado que revisó y aprobó el examen de grado de **José Rodolfo Goche Télles** autor de la presente tesis de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales estuvo constituido por:

PRESIDENTE:_____
M. C. MARIO FUENTES SALINAS

ASESOR:_____
DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA

ASESOR:_____
DR. HUGO RAMIREZ MALDONADO

DEDICATORIA

A mis padres,

por darme la oportunidad,

de llegar a este mundo.

AGRADECIMIENTOS

A la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo, por darme la oportunidad de continuar en el largo camino de la superación.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico sin el cual no hubiese sido posible la culminación de esta etapa de mi vida.

Al Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Hidalgo (CECyTEH), por todas las facilidades otorgadas.

Al M. C. Mario Fuentes Salinas, por la paciencia y excelente dirección de este trabajo.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por su amistad, apoyo y disponibilidad brindada durante la realización de este documento.

Al Dr. Hugo Ramírez Maldonado, por sus excelentes aportaciones y su apoyo incondicional en la parte estadística del presente.

A Rosa María y Alma Janeth, por la confianza y apoyo que me otorgan en cada momento de mi vida.

A la familia Flores Morales, por la amistad desinteresada que me brindan.

A la familia Naranjo Lule por el apoyo que siempre me han dado.

Al personal del Laboratorio de Anatomía de la Madera y Plantas Piloto, por sus sugerencias, apoyo y la amistad ofrecida, durante el desarrollo del presente.

A mis compañeros y amigos de la División de Ciencias Forestales, por hacer mi estancia agradable y fructífera.

A mis compañeros del CECyTEH, Plantel Calnali y Tepehuacan, por el apoyo y ánimo brindado para que este trabajo llegara a un feliz término.

A mis profesores, por su paciencia y disponibilidad en la difícil tarea de la enseñanza.

A mis alumnos, por ayudarme a dar el último esfuerzo que se reflejo en la culminación de éste trabajo.

Un agradecimiento especial a Dios, por hacerme sentir apoyado en los momentos más difíciles de mi vida.

DATOS BIOGRAFICOS

El autor nació el 27 de octubre de 1970, en un lugar llamado Pichátaro en el estado de Michoacán, donde realizó estudios de preescolar y primaria, en septiembre de 1983 ingresó a la Escuela Secundaria Técnica No. 25 de Antúnez, municipio de Parácuaro, Michoacán, donde culminó los estudios de secundaria en 1986; en el mismo año ingreso a la Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo y en 1989 eligió la licenciatura, formando parte de la comunidad de la División de Ciencias Forestales hasta julio de 1993, egresando como Ingeniero Forestal con Orientación en Industrias Forestales, obteniendo el titulo en noviembre del mismo año, sustentando la tesis titulada "Estudio tecnológico de la madera de *Quercus sideroxyla* del estado de Durango".

Durante 1994 y 1995, trabajó en el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), con sede en León, Guanajuato en el programa del PROCEDE, en el área de Fotointerpretación, desempeñando diversos trabajos como: elaboración de croquis a mano alzada y con apoyo de fotografías aéreas, medición de ejidos en campo con el apoyo de fotografías aéreas y en la transferencia de la información a fotomapas.

En 1996, ingresó al programa de Maestría en Ciencias en Ciencias Forestales de la División de Ciencias Forestales en la Universidad Autónoma Chapingo. En noviembre de 1998, empieza a trabajar como docente en el Colegio de Estudios Científicos y Tecnológicos del Estado de Hidalgo (CECyTEH), en el plantel ubicado en Tepehuacan de Guerrero, Hidalgo; impartiendo clases relacionadas con el área forestal. En febrero de 1999, asciende a coordinador de control escolar, y es transferido al plantel ubicado en el municipio de Calnali, Hidalgo, desempeñando las funciones propias del puesto además de impartir cursos relacionados con el área forestal y cursos de computación básica.

Entre otras actividades, se encuentran la realización del servicio social en el proyecto titulado "Industrialización y comercialización de madera en la comunidad de Pichátaro, Michoacán". Participó como ponente en el Primer Congreso de Tecnología de la Madera, realizado en Jalapa, Ver., en noviembre de 1996. Ha participado como asesor de dos tesis de licenciatura.

RESUMEN

PERFILES DE VARIACIÓN EN EL ÁRBOL, DE LA LONGITUD DE TRAQUEIDAS, DENSIDAD BÁSICA, CONTENIDO DE HUMEDAD, CONTRACCIONES VOLUMÉTRICAS Y LINEALES, DE LA MADERA DE *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw.

Goche Télles José Rodolfo M. C.

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

Noviembre de 1999.

(Bajo la dirección del M. C. Mario Fuentes Salinas)
El presente trabajo muestra la variación transversal y longitudinal de la longitud de traqueidas, densidad básica, contenido de humedad, contracciones volumétricas y lineales de *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Para ello se utilizaron rodajas obtenidas a cada 1.30 m a partir de la base. De cada rodaja se cortaron bloques de cinco anillos de crecimiento en sentido Norte-Sur, en las cuales se determinó la longitud de traqueidas, densidad básica y contenido de humedad; para las contracciones se utilizaron las secciones Este-Oeste, las variables anteriores se evaluaron en el sentido longitudinal (base-copa) y transversal (medula-corteza).

Los resultados encontrados se analizaron mediante el modelo de crecimiento de Schumacher y regresión lineal. En sentido transversal las dos especies mostraron resultados similares para longitud de traqueidas y contracciones, aumentando de la médula hacia la corteza, en sentido longitudinal no se mostró una tendencia definida. La densidad básica y el contenido de humedad no presentaron un comportamiento definido en ambos sentidos y especies.

Palabras clave: *Abies religiosa, Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, variación en la madera, longitud de traqueidas, densidad básica, contracción de la madera.

ABSTRACT

PROFILES OF VARIATION IN THE TREE, OF TRACHEID LENGTH, BASIC DENSITY, MOISTURE CONTENT, VOLUMETRIC AND LINEAL SHRINKAGE, IN WOOD OF *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw.

Goche Télles José Rodolfo M. C.

División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo

November of 1999.

(Under the direction of M. C. Mario Fuentes Salinas)

The present work shows the tranverse and longitudinal variation of the tracheids lenght, basic density, moisture content, volumetric and lineal shrinkage the wood of *Abies religiosa* (H.B.K.) Schl. Et Cham y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw. For they were used it slices obtained each 1.30 m starting from the base. Of each slice they cut themselves blocks of five rings of growth in sense North-South, in which it was determined the tracheids lenght, basic density and moisture content; for the shrinkage they were used the sections East-west, the previous variables were evaluated in the longitudinal senses (base-crown) and traverse (pith-bark).

The opposing results were analyzed by means of the pattern of growth of Schumacher and lineal regression. In traverse sense the two species showed similar results for tracheids lenght and shrinkage, increasing of the marrow toward the bark, in longitudinal sense a defined tendency was not shown. The basic density and the moisture content didn't present a behavior defined in both senses and species.

Keywords: *Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, variation in the wood, tracheids lenght, basic density, shrinkage of the wood.

CONTENIDO

PÁG.

APROBACION DE LA TESIS DE GRADO ---------- ii

APROBACION DEL EXAMEN DE GRADO ---------- iii

DEDICATORIA. ---------- iv

AGRADECIMIENTOS ---------- v

DATOS BIOGRAFICOS ---------- vi

RESUMEN ---------- vii

ABSTRACT ---------- viii

CONTENIDO ---------- ix

LISTA DE CUADROS ---------- xii

LISTA DE FIGURAS ---------- xiii

1. INTRODUCCIÓN ---------- 1

2. REVISION DE LITERATURA ---------- 3

2.1. Longitud de traqueidas ---------- 4

2.2. Contenido de humedad ---------- 6

2.3. Densidad básica ---------- 7

2.4. Contracciones volumétricas y lineales ---------- 13

2.5. Descripción de las especies ---------- 15

2.5.1. Descripción botánica ---------- 15

2.5.1.1. *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlechtendal et Chamisso -- 15

PAG.

2.5.1.2. *Pinus ayacahuite* var. v*eitchii* shaw ---------- 18

2.5.2. Descripción microscópica de la madera ---------- 21

2.5.2.1. *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlechtendal et Chamisso -- 21

2.5.2.2 *Pinus ayacahuite* var. v*eitchii* shaw ---------- 22

2.5.3. Descripción macroscópica de la madera ---------- 23

2.5.3.1 *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlechtendal et Chamisso -- 23

2.5.3.2. *Pinus ayacahuite* var. v*eitchii* shaw ---------- 24

3. MATERIALES Y METODOS ---------- 25

3.1. Fase de campo ---------- 25

3.1.1. Lugar de colecta del material ---------- 25

3.1.2. Colecta del material ---------- 27

3.2. Fase de laboratorio ---------- 29

3.2.1. Preparación del material ---------- 29

3.2.2. Medición de las dimensiones de las traqueidas ---------- 31

3.2.3. Evaluación del contenido de humedad ---------- 32

3.2.4. Obtención de la densidad básica ---------- 33

3.2.5. Determinación de las contracciones volumétricas y lineales ------ 34

3.3. Análisis estadístico ---------- 37

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN ---------- 38

4.1. Longitud de traqueidas ---------- 41

4.2. Contenido de humedad ---------- 50

4.3. Densidad básica ---------- 58

4.4. Contracciones lineales y volumétricas ---------- 68

4.4.1. Contracciones radiales ---------- 68

4.4.2 Contracciones tangenciales ---------- 73

4.4.3. Contracciones volumétricas ---------- 79

PAG.

5. CONCLUSIONES ---------- 88

6. LITERATURA CITADA ---------- 90

LISTA DE CUADROS

PAG.

Cuadro 1 Valores promedio, mínimo y máximo de cada una de las variables estudiadas por especie. ---------- 38

Cuadro 2 Tabla con los valores de los parámetros estimados por el modelo linealizado de Schumacher con respecto a la edad en la longitud de traqueidas. ---------- 49

Cuadro 3 Tabla con los valores obtenidos al relacionar edad con contenido de humedad.---------- 56

Cuadro 4 Análisis de varianza de contenido de humedad relacionado con edad y altura.---------- 57

Cuadro 5 Tabla con los valores obtenidos al relacionar edad y ancho de anillos con densidad básica. ---------- 66

Cuadro 6 Análisis de varianza de densidad básica relacionada con edad y altura.---------- 67

Cuadro 7 Valores encontrados al relacionar la edad con altura en las contracciones radiales.---------- 85

Cuadro 8 Valores de contracción tangencial relacionando edad con altura aplicando el modelo linealizado de Schumacher.---------- 86

Cuadro 9 Valores de los parámetros encontrados por medio de regresión lineal, relacionando edad con contracciones volumétricas para todas las alturas en las dos especies. ---------- 87

LISTA DE FIGURAS

PAG.

Fig. 1 Ubicación del área de estudio. ---------- 26

Fig. 2 Especies utilizadas en la investigación. ---------- 27

Fig. 3. Colecta del material en campo. ---------- 28

Fig. 4. Identificación y forma de transportar las rodajas. ---------- 29

Fig. 5 Corte transversal de la rodaja. Sección N y S utilizada en la determinación de la densidad básica, contenido de humedad y longitud de traqueidas. Sección E y O utilizada en la obtención de las contracciones.---------- 30

Fig. 6 Forma de obtener las secciones para determinar el contenido de humedad en cada especie y para cada altura.---------- 32

Fig. 7 Forma de obtener las secciones para determinar las contracciones de cada especie y para cada altura.---------- 35

Fig. 8 Lugar donde se tomaron las dimensiones en dirección radial y tangencial, para cada una de las probetas.---------- 35

Fig. 9 Perfil de variación de longitud de traqueidas en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Abies religiosa* agrupada en cinco rangos.----- 45

Fig. 10 Perfil de variación de longitud de traqueidas en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* agrupada en cinco rangos. ---------- 46

Fig. 11 Variación en sentido transversal y longitudinal de la longitud de traqueidas de *Abies religiosa*, con base en los valores estimados estadísticamente. ---------- 47

Fig. 12 Variación en sentido transversal y longitudinal de la longitud de traqueidas de *Pinus ayacahuite* var *veitchii,* con base en los valores estimados estadísticamente. ---------- 48

PAG.

Fig. 13 Perfil de variación del contenido de humedad en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Abies religiosa* con los valores reales agrupados en seis rangos. ---------- 52

Fig. 14 Perfil de variación del contenido de humedad en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores reales agrupados en seis rangos. ---------- 53

Fig. 15 Variación en sentido transversal y longitudinal del contenido de humedad de *Abies religiosa* basándose en los valores estimados estadísticamente. ---------- 54

Fig. 16 Variación en sentido transversal y longitudinal del contenido de humedad de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* basándose en los valores estimados estadísticamente. ---------- 55

Fig. 17 Perfil de variación de la densidad básica en sentido transversal y longitudinal de *Abies religiosa* con los valores reales agrupados en seis rangos. ---------- 62

Fig. 18 Perfil de variación de la densidad básica en sentido transversal y longitudinal de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores reales, agrupados en seis rangos. ---------- 63

Fig. 19 Variación en sentido transversal y longitudinal de la densidad básica de *Abies religiosa* con base en los valores estimados estadísticamente. 64

Fig. 20 Variación en sentido transversal y longitudinal de la densidad básica de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con base en los valores estimados estadísticamente. ---------- 65

Fig. 21 Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Abies religiosa* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores. ---------- 69

Fig. 22 Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores. 70

Fig. 23 Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Abies religiosa* con los valores estimados estadísticamente. 71

Fig. 24 Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores estimados estadísticamente. ---------- 72

PAG.

Fig. 25 Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Abies religiosa* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores. --------- 75

Fig. 26 Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores. ---------- 76

Fig. 27 Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Abies religiosa* con los valores estimados estadísticamente. ---------- 77

Fig. 28 Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores estimados estadísticamente. ---------- 78

Fig. 29 Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas de *Abies religiosa* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores. -------- 80

Fig. 30 Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores. ---------- 81

Fig. 31 Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas de *Abies religiosa* con los valores estimados estadísticamente. ---------- 82

Fig. 32 Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores estimados estadísticamente. ---------- 83

1. INTRODUCCIÓN

En México existe una gran diversidad de especies forestales entre coníferas y latifoliadas que pueden ser estudiadas. Las investigaciones realizadas sobre tecnología de la madera muestran una mayor preferencia hacia las coníferas, tal vez por tener mayor importancia. No obstante, la mayoría de éstas se han realizado a un solo nivel del árbol, que generalmente es a 1.30 m con los cuales infieren el comportamiento promedio de las propiedades tecnológicas de la madera de todo el árbol, sin considerar que la madera presenta variaciones a lo largo y ancho del fuste.

Los estudios de variación son realizados desde hace aproximadamente 40 años en países europeos y en los Estados Unidos de Norteamérica (Kollmann, 1959). En México son pocos los trabajos realizados sobre variación transversal y longitudinal de propiedades de la madera de especies forestales, entre los que se encuentra el trabajo realizado por Cruz (1992), en *Pinus pseudostrobus* Lindl., quien reporta datos de longitud de fibras, densidad básica, compresión paralela, tensión paralela, flexión estática, módulo de elasticidad, cizallamiento radial y flexión dinámica, en secciones tomadas a lo largo del fuste.

En general, las características de la madera pueden variar entre árboles de la misma especie, y dentro del mismo árbol. Los especímenes pueden variar en color, ancho de

anillos, textura, densidad, dureza y resistencia entre otras propiedades, así mismo, los tipos de células de dos piezas de la misma madera pueden presentar diferentes proporciones en tamaño, grosor y composición de sus paredes (Jane, 1970). Esta variación esta presente entre la madera cercana a la corteza (madera madura) y la madera cercana a la médula (madera juvenil), tal variación influye en la calidad de pulpa para papel elaborada en el proceso al sulfito y proceso mecánico como lo reporta Haton (1997); por otro lado, es importante considerar la variación que presenta la densidad básica, la cual da un índice de la calidad de la madera misma que a su vez esta relacionada con el uso final de la madera, la energía requerida para su aserrío y la cantidad de pulpa producida por unidad de volumen (Walker, 1993).

Este trabajo pretende contribuir al conocimiento de la variación transversal y longitudinal que presentan algunas propiedades tecnológicas de la madera como son: longitud de traqueidas, densidad básica, contenido de humedad y contracciones, de un árbol de *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Los resultados encontrados se analizaron estadísticamente con el fin de encontrar el comportamiento para cada una de las variables estudiadas en las dos especies y en sentido transversal y longitudinal del fuste, por último se presentan los resultados en forma de perfiles y gráficas donde se observan con claridad las tendencias aquí encontradas.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

Desde hace muchos años, se conoce que las propiedades de la madera pueden variar ampliamente dentro de un árbol, desde la médula hacia el exterior o de la base del tronco hacía la copa. Este comportamiento Zobel y Talbert (1994), lo atribuyen a la presencia de madera juvenil que se forma cerca del centro del árbol, y presenta características diferentes a las que presenta la madera madura.

La variación puede ser inherente de la especie, que la hace diferente a otras, aunque puede ser influenciada por la edad, forma del árbol, diferencias genéticas, velocidad de crecimiento e historia evolutiva (Jane, 1970; Zobel y Talbert 1994). Alternativamente, también puede ser el resultado de factores externos como, luz, suelo, humedad y temperatura, así como la competencia con otros organismos que forman parte del medio ambiente del árbol, afectando su crecimiento y originando variaciones en la madera entre árboles o entre piezas del mismo árbol (Jane, 1970).

La revisión de literatura se presenta en párrafos que agrupan los antecedentes referentes a las diversas tendencias encontradas por diferentes autores respecto a cada una de las características estudiadas, como son: longitud de traqueidas, contenido de humedad, densidad básica y contracciones lineales.

2.1. Longitud de traqueidas

Los estudios sobre la variación en la longitud de traqueidas se han realizado desde hace mucho tiempo, y se han encontrado diferentes tendencias en dirección transversal y longitudinal del fuste tal como lo muestra la siguiente revisión bibliográfica.

En una recopilación de literatura con respecto a la variación en la longitud de traqueidas en dirección transversal Panshin y De Zeeuw (1980), mencionan tres tendencias, en la primera se observa un incremento acelerado en el período juvenil hasta llegar a estabilizarse en el período maduro (*Pinus sylvestris*), en la segunda se presenta un incremento continuo de la médula hacia la corteza, siendo más acelerado en el período de madera juvenil y la tercera tendencia, presenta una parábola mostrando un incremento hasta alcanzar un máximo para después disminuir en la parte cercana a la corteza.

Tomando como patrón las tres tendencias antes mencionadas, se agrupan todas las investigaciones realizadas durante los últimos años sobre la variación de la longitud de traqueidas en sentido transversal.

Para la primera tendencia, donde la longitud de traqueidas aumenta de la médula hacia la corteza hasta llegar a un punto donde se comienza a estabilizar en el período maduro, se encontraron los siguientes trabajos: Duffield (1964) en Pseudotsuga menziesii; Wheeler, Zobel, y Weeks (1966) en *Pinus taeda*, Tsoumis (1969), en *Pinus resinosa* y *P. taeda*; Sanio, citado por Jane (1970), en *Pinus sylvestris*, Bucio (1982), en *Pinus douglasiana*; Seth y Agrawal (1984), en *Pinus wallichiana*; Yanchuk y Micko (1990) en *Picea abies*; Bonilla (1993), en *Pinus hartwegii* y Calixto (1996), en *Pinus herrerae*.

Para la segunda tendencia de incrementar de la médula hacía la corteza se tienen las siguientes investigaciones: Wheeler, Zobel, y Weeks (1966) en *Pinus taeda*; Nicholls (1967) en *Pinus pinaster*; Resch y Arganbright (1968) en *Sequoia sempervirens*; Romero, De la Paz Pérez y Corral (1978), en *Abies concolor*; Resch y Bastendorff (1978), en *Pinus caribaea* y *Pinus oocarpa*; Dood y Power (1986), en *Abies concolor*; Schniewind y Gammon (1986), en *Pinus ellioti*; Paraskevopoulou (1991), en *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*; Vaca (1992), en *Pinus cembroides*; Walker *et al.* (1993), en *Pseudotsuga menziesii, Pinus caribaea, P. oocarpa*; Lindström (1997), en *Picea abies* y Ok y Young (1997), en *Pinus densiflora* y *P. thunbergii*.

Con respecto a la tercera tendencia de incrementar para después de llegar a un valor máximo tender a disminuir se encontró el trabajo realizado por Hernández (1987), en *Pinus patula* var. *longepedunculata, P. rudis, P. oaxacana* y *P. teocote*.

La variación presentada en sentido longitudinal del árbol, según Panshin y De Zeeuw (1980), manifiesta un patrón general que consiste en un incremento desde el nivel del suelo hasta un punto cercano a la base de la copa, posteriormente disminuye hasta la punta del árbol. Al respecto se presentan dos tendencias, la primera es de incrementar desde la base hasta la punta del árbol (*Abies concolor*), la segunda, presenta una disminución desde la base hasta la punta del árbol (*Pinus ponderosa*).

Considerando lo anterior, a continuación se citan los autores que en sus investigaciones encontraron el patrón general de comportamiento mencionado en el párrafo anterior; Tsoumis (1969), en *Pinus resinosa* y *P. taeda*; Sanio, citado por Jane (1970), en *Pinus sylvestris*.

Con respecto a la primera tendencia, incrementar de la base hacia la punta del árbol, se tiene la siguiente información: Resch y Arganbright (1968), en *Sequoia sempervirens*; Markstrom, Troxell y Boldt (1983), en *Pinus ponderosa*; Walker *et al.* (1993), en *Pseudotsuga menziesii, Pinus caribaea* y *P. oocarpa.*

Por último, Paraskevopoulou (1991), no encuentra un patrón de comportamiento definido en *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* por lo que concluye que la altura en el árbol, no influye en el comportamiento de la longitud de traqueidas para esta especie.

En estudios sobre longitud de traqueidas de *Abies religiosa* se encontró que Huerta (1978), reporta un valor mínimo de 1800, un máximo de 5400 y una media de 3498 μ, por otro lado, Larios (1979), encuentra valores mínimos de 2310, valores máximos de 5 313 y una media de 3 755 μ, encontrando los valores medios más altos en la última década de crecimiento y los más bajos en la primera década.

2.2. Contenido de humedad

Uno de los primeros trabajos relacionados con la variación del contenido de humedad dentro del árbol en coníferas, lo realizó Koehler (1924), en *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus radiata*, encontrando que en dirección transversal los árboles verdes presentan mayor cantidad de agua en la albura comparándola con el duramen, con excepción de algunas coníferas donde la distribución de la humedad es uniforme.

Las siguientes investigaciones coinciden con lo mencionado en el párrafo anterior con respecto a la variación del contenido de humedad en sentido transversal: Kollmann (1959); en *Abies balsamea* y *Pinus sylvestris*; Hillis (1962) en *Pinus sylvestris* y *Picea sitchensis*; Panshin y De Zeeuw (1980) en *Pinus sylvestris*, Desch y Dinwoodie (1981); en *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus sylvestris* y *Picea abies*; Shortle y Bauch (1986), en *Abies balsamea* y *Abies alba* y Frühwald (1986), en *Abies balsamea, Abies alba*, *Pinus sylvestris,* y *Picea abies.*

Al analizar la variación del contenido de humedad de las coníferas en sentido longitudinal del árbol Koehler (1924), en *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus radiata*, encuentra que las partes altas del árbol contienen mayor cantidad de agua que en la base, lo que coincide con lo reportado por Kollmann (1959) en *Abies balsamea* y *Pinus sylvestris* y Desch y Dinwoodie (1981) en *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus sylvestris* y *Picea abies.*

2.3. Densidad básica

En México, los primeros trabajos relacionados con la densidad de la madera se iniciaron en 1934 (Novelo, 1964), en una publicación de la Escuela Preparatoria de Mazatlán, donde se estudiaron algunas propiedades físicas y mecánicas de 32 especies procedentes de Sinaloa.

El patrón de variación presentado por la densidad básica de una especie, según Hillis (1962), depende de la posición en el árbol (radial o vertical), su posición en los anillos de crecimiento y en el ancho de éstos, por otra parte Krahmer (1966), menciona que esta variación es explicada en un 23 % por la tasa de crecimiento (ancho de anillos); así mismo, Wright y Malan (1991), atribuyen esta variación al porcentaje de madera tardía presente en los anillos de crecimiento, coincidiendo con Kort *et al.* (1991), quien además en su estudio de *Pseudotsuga menziesii*, menciona que dicho factor explica un 60 % de la variación presente en la madera, y Valencia (1994), además de lo anterior incluye la edad del árbol.

En otro estudio, Wimmer (1995), menciona que la proporción de madera tardía predice la densidad básica de la madera con una confiabilidad del 95 % presentando una alta correlación entre estas dos variables mostrando un modelo para estimar la densidad con base en el porciento de madera tardía, aclarando que el modelo funciona para madera normal ya que no fue probado en madera de compresión o en madera rica en extractivos.

La variación de la densidad básica en sentido transversal encontrada por Panshin y De Zeeuw (1980), muestra tres tipos generales de comportamiento en troncos de árboles maduros. Tipo I, la media de la densidad básica incrementa de la médula hacia la corteza, puede presentar una línea continua o en forma de curva donde ésta se achata en la madera madura para exhibir un decremento en las partes exteriores del fuste en árboles viejos. Tipo II, la densidad básica disminuye junto a la médula e incrementa cerca de la corteza. Tipo III, la densidad básica es más alta en la médula que en la corteza, disminuyendo en cualquiera de las dos formas como una línea recta o en forma de curva.

De acuerdo a las tres tendencias presentadas en el párrafo anterior, a continuación se agrupan las investigaciones realizadas por diversos autores.

Con la tendencia tipo I, coincide lo encontrado por: Koehler (1924), *en Pseudotsuga menziesii* y *Pinus radiata*; Wangaard (1950), en *Pseudotsuga menziesii* y Kollmann (1959), en *Abies balsamea* y *Pinus sylvestris*; Hillis (1962) en *Pinus sylvestris y Picea sitchensis* y Benson (1963), *Pinus ponderosa* y *Pinus strobus*; Krahmer (1966), en *Tsuga heterophylla*; Nicholls (1967), en *Pinus pinaster*; Copes y Oliver (1970), en *Pseudotsuga menziesii*; Lenhart, Cutter y Ho-Shinn (1977), en *Pinus taeda* procedente de plantaciones; Desch y Dinwoodie (1981), *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus sylvestris* y *Picea abies*; García (1984), en *Pinus patula* var. *longepedunculata, P. rudis, P. oaxacana, P. teocote, P. maximinoi, P. pringlei* y *P. michoacana* var. *cornuta*; Hernández H. (1985) y Hernández P. (1985), en *Pinus hartwegii*; Schniewind y Gammon (1986), en *Pinus muricata* y *Pinus radiata*; Plancarte (1987), en *Pinus caribaea* var *hondurensis*; Jozsa y Brix (1989), en *Pseudotsuga menziesii*; Clark III y Saucier (1989), en *Pinus taeda* y *P. ellioti*; Walker *et al.* (1993), en *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus caribaea* y *P. oocarpa*; Calixto (1996), en *Pinus herrerae* y Bues (1996), en *Picea abies.*

Para la segunda tendencia se encontró la siguiente información: Zobel y van Buijtenen (1989), en *Pinus radiata*; Yanchuk y Micko (1990), en *Picea abies*; Shepard y Shottafer (1992), en dos plantaciones y un rodal natural de *Pinus radiata*; Blouin *et al.* (1994), Brolin, Norén y Stahl (1995) y Lindström (1996b), todos en *Picea abies*.

La tendencia tipo III, presenta las siguientes investigaciones: Dood y Power (1986), en *Abies concolor*; Paraskevopoulou (1991), en *Cupressus sempervirens* var. *Horizontalis;* Vaca (1992), en *Pinus cembroides*; McAlister y Powers Jr. (1992), en *Pinus taeda* y *Pinus elliotti* así como Mitchell y Denne (1997), en *Picea sitchensis*.

Por último, la literatura reporta que también se puede presentar un patrón de variación no definido en dirección transversal como es el caso del reportado por Resch y Bastendorff (1978), en *Pinus caribaea* y *Pinus oocarpa*.

Una de las investigaciones que muestra la relación presentada entre la densidad básica con la altura en el árbol es la encontrada por Okkonen, Wahlgren y Maeglin (1972), los que reportan dos tendencias bien marcadas y una menos frecuente; en la primera la densidad básica disminuye cuando incrementa la altura en el fuste para especies con un alto porcentaje de madera tardía, esta tendencia puede ser explicada por el incremento en densidad básica con la edad (de la médula hacia la corteza), atribuida a un incremento en el porciento de madera tardía, lo que esta relacionado con la densidad. En la segunda, la densidad básica incrementa con la altura para especies con bajo porcentaje de madera tardía, atribuyéndolo a un incremento en la densidad de la madera temprana, con la altura en el árbol. La última tendencia (menos frecuente), fue la presentada por *Abies concolor*, donde la densidad básica disminuye inicialmente en las partes bajas del árbol para después incrementar ligeramente en las partes altas.

Con base en lo anterior se agrupan las siguientes investigaciones, con respecto a la primera tendencia cuando la densidad básica disminuye al aumentar la altura en el árbol

se encontró lo siguiente: Koehler (1924); en *Pseudotsuga menziesii* y *Pinus radiata*; Wangaard (1950), en *Pseudotsuga menziesii*; Resch y Arganbright (1968), en *Sequoia sempervirens*; Lenhart, Cutter y Ho-Shinn (1977), en *Pinus taeda* procedente de plantaciones; Panshin y De Zeeuw (1980), en *Abies balsamea*; Desch y Dinwoodie (1981), en *Pseudotsuga menziesii, Pinus sylvestris* y *Picea abies*; Markstrom, Troxell y Boldt (1983), en *Pinus ponderosa*; Jozsa y Brix (1989), en *Pseudotsuga menziesii*; Clark III y Saucier (1989), en *Pinus taeda* y *P. ellioti*; y Walker *et al.* (1993), en *Pseudotsuga menziesii*, *Pinus caribaea* y *P. oocarpa.*

Para la segunda tendencia (la densidad incrementa cuando aumenta la altura en el árbol) se tienen las siguientes investigaciones: Kollmann (1959), en *Pinus sylvestris*; Paraskevopoulou (1991), en *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis*; Cruz (1992), en *Pinus pseudostrobus* Lindl. y Brolin, Norén y Stahl (1995), en *Picea abies*.

Algunas coníferas no presentan un patrón definido en cuanto a la variación de la densidad básica con respecto a la altura en el árbol, como se muestra en lo encontrado por Krahmer (1966), en *Tsuga heterophylla*; Resch y Bastendorff (1978), en *Pinus caribaea* y *Pinus oocarpa*; Vaca (1992), en *Pinus cembroides*.

En el trabajo realizado sobre la variación en densidad de la madera de *Pinus radiata*, Matziris (1979), encuentra una correlación negativa (r = - 0.17) entre la densidad y la altura total en el árbol y una r = - 0.35. entre la densidad y el diámetro normal. En general, la correlación encontrada indica una muy pobre relación entre la densidad de la madera y la tasa de crecimiento, encontrando también una gran variación entre árboles.

En una revisión de literatura sobre *Picea abies*, Lindström (1996a) menciona que la variación en la densidad básica, presente en la madera, está relacionada con la vitalidad de la copa y los factores que actúan sobre ella como son ancho de anillos y tratamientos silvícolas como aclareos y fertilización.

En investigaciones sobre *Picea mariana,* Yin *et al.* (1996) atribuye esta variación a las condiciones del medio ambiente, que influyen en la tasa de crecimiento de los anillos, los que a su vez repercuten en una disminución en la proporción de madera tardía presente en la madera ocasionando que la densidad básica disminuya.

Al estudiar la variación en ancho de anillos y densidad básica en árboles de *Picea sitchensis*, Simpson y Denne (1997), encontraron que los árboles con mayor espaciamiento presentaron valores de densidad básica más altos que los árboles con menor espaciamiento, por otro lado, el patrón de variación transversal de densidad y ancho de anillos se fue modificando al incrementar la altura en el árbol, lo mismo sucedió con la regresión lineal entre densidad y ancho de anillos. Los valores de la interceptada con el origen y la pendiente de la recta tendieron a incrementarse con el número de anillos a partir de la médula y con la altura en el árbol para un anillo en particular.

Al correlacionar los efectos de la tasa de crecimiento con el ancho de anillos y densidad básica de la madera temprana en *Picea abies*, Dutilleul, Hernán y Avella (1998), encontraron una correlación negativa con valores de r^2 entre – 0.69 y – 0.45 observando que al aumentar el ancho de anillos la densidad disminuye en especies de rápido y lento

crecimiento, los valores de correlación más bajos se aprecian en los árboles estudiados antes del primer aclareo y después del primer aclareo muestran r^2 más altas, concluyendo que el ancho de anillos es un predictor satisfactorio de la densidad básica de la madera temprana.

En cuanto a la especie *Abies religiosa*, Ortega (1962), encontró una densidad básica promedio de 0.40 gr/cm^3, difiriendo con Larios (1979), quien encuentra una densidad básica promedio de 0.34 gr/cm^3, haciendo la observación que la primera década de crecimiento presentó los valores más bajos y en la última década los valores más altos, otro estudio realizado por Echenique y Becerra (1981), para la misma especie, reportan una densidad básica de 0.38 gr/cm^3. Para *Pinus ayacahuite* de la región de Chignahuapan, Puebla, Quiñones (1974), reporta una densidad de 0.35 g/cm^3

2.4. Contracciones volumétricas y lineales

En el trabajo realizado por Meylan (1968), sobre las contracciones longitudinales, encuentra que el ángulo fibrilar influye de manera directa en la magnitud de las contracciones longitudinales, mostrando que las contracciones tangenciales son más grandes con respecto a las longitudinales, así mismo, indica que las contracciones longitudinales son casi nulas en ángulos fibrilares menores a 30°, pero al incrementar el ángulo las contracciones incrementan notablemente; las contracciones tangenciales por su parte se comportan en forma inversa a las longitudinales.

Otro estudio que presenta la importancia del ángulo fibrilar en las contracciones es el realizado por Tang y Smith (1975), en fibras aisladas de coníferas, encontrando que en ángulos fibrilares grandes se presentan las mayores contracciones longitudinales, señalando que aparte del ángulo fibrilar, existen además otros factores que influyen como son la estructura y dimensión de las fibrilas, espacio ente ellas y el grosor de la pared celular.

Las contracciones de la madera varían con relación a su posición en el árbol, Panshin y De Zeeuw (1980), encuentran que en la madera juvenil la contracción longitudinal es más alta cerca de la médula, disminuyendo rápidamente hacia la parte exterior del período de crecimiento juvenil, este cambio en la extensión de las contracciones longitudinales está relacionado con la rápida reducción del ángulo fibrilar en la pared celular y al incremento en la longitud de las células y contenido de celulosa. En la madera madura, las contracciones longitudinales y volumétricas, están relacionadas directamente con la densidad básica, longitud de las células y ángulo fibrilar de la pared celular, lo que coincide con lo reportado por Choong, Fogg y Pollck (1989); en *Taxodium distichum* L.; McAlister y Powers Jr. (1992), en *Pinus taeda* y *Pinus elliotti*; McAlister y Clark III (1992), en *Pinus taeda* y Dumail y Castera (1997), *en Pinus pinaster.*

Respecto a la variación en dirección longitudinal Choong, Fogg y Pollck (1989); en *Taxodium distichum* L., encuentran contracciones pequeñas en la parte baja del fuste, contracciones máximas en un tercio de la altura del árbol, continuando con una disminución de los valores en la copa del árbol

2.5. Descripción de las especies

2.5.1. Descripción botánica

2.5.1.1 *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlechtendal et Chamisso.

La descripción botánica de ésta especie esta basada en lo reportado por Vázquez *et al.* (1962), con agregaciones de otros autores mismos que se indican donde corresponde.

Nombre común: acxoyatl, pinabete, abeto y oyamel

Sinonimia:

Abies religiosa H.B.K. Nov. Gen. Sp. Plant. II. 4, 1817.
Abies religiosa Lindley, ex Gordon. Pinetum – 153. 1858.
Abies glauca Roezel, ex De Candolle. Prodromus. XVI. P. 420
Picea religiosa Loudon, Arb. Brit. IV. 2344. 1838.

El género *Abies,* presenta hojas lineares, de 2 a 7 cm de largo, torcidas en la base, persistentes, alternas, colocadas en espiral, subdísticas y en la ramilla dejan una cicatriz circular al desprenderse. Conos cilíndrico-cónicos, erectos, en la punta del árbol, grandes mayores de 10 cm de longitud, con escamas caedizas al madurar; yemas cubiertas de resina, (Madrigal, 1982). Se le da el nombre de *religiosa* porque sus ramillas son preferidas por los indígenas como adorno en algunas ceremonias religiosas, (Vázquez, *et al.* 1962) y en algunos lugares los árboles jóvenes son utilizados como árboles de Navidad, (Espinoza, 1996).

La especie estudiada es representante de los árboles mexicanos de porte más elegante, con una altura de hasta 60 m y su diámetro normal alcanza 1.80 m, sus ramas son extendidas o ligeramente ascendentes y verticiladas, acortándose gradualmente formando una copa cónica. Las ramillas, son colgantes comúnmente opuestas en cruz, de color que varía del castaño oscuro al moreno violáceo, más o menos hirsutas cuando son jóvenes y en algunos casos con pelillos muy densos.

La corteza, es grisácea, lisa y con vejigas llenas de trementina en los árboles jóvenes, en los adultos es áspera, agrietada y dividida en placas irregulares. Las hojas, son alternas, dispuestas en espiral, lineares, derechas o algo falcadas subdísticas, torcidas en la base, con el ápice por lo común agudo y córneo, rara vez redondeado; con una hendidura longitudinal en la cara superior que se desvanece cerca del ápice, y una cresta saliente en la cara inferior. Son de color verde oscuro brillante en la superficie superior, y muy glaucas en la inferior, (Madrigal, 1982). Miden de 20 a 30 mm de longitud, por 1.5 mm de ancho. Las yemas, son ovoides u ovales, de 6 a 10 mm, de color amarillento y están protegidas por brácteas delgadas.

La inflorescencia masculina se presenta en las ramillas laterales, en los meses de marzo a mayo. Son oblongas y romas, de 12 a 14 mm de largo por 5 mm de ancho, de aspecto granujiento y de color violáceo carmín, cuando tiernas están protegidas por abundante resina. El limbo es ancho y convexo, lleva dos sacos con granos de polen, los cuales tienen dos vejigas aeríferas. La inflorescencia femenina se observa en la misma época en las ramillas más altas, hacia la cima del árbol, al grado de que por lo común son inaccesibles. Los conillos son subcilíndricos y blandos, de 7 cm de largo, con grandes brácteas rojizas de margen rasgado, blanco y traslúcido, llevan en el centro una banda longitudinal. En la base de cada bráctea se ve una escama en formación, con dos óvulos.

Los conos, son erguidos, cilíndricos, rara vez romos, cortamente oblongos, resinosos, casi sésiles o con pedúnculo de 5 a 9 mm; su color es violáceo cuando son tiernos, miden alrededor de 10 cm de largo por 4-6 cm de ancho (Vázquez, *et al.* 1962; Madrigal, 1982). Se presentan solitarios, pero próximos, por lo cual dan la apariencia de estar agrupados. Maduran en el mismo año, en los meses de agosto y septiembre. Constan de un eje leñoso, cilíndrico agudo, persistente en la ramilla, y sobre el cual están dispuestas las escamas, que se desprenden en la madurez.

Las semillas, son lisas y de color castaño brillante, cuneado-oblonga, de 9 a 10 mm de largo por 5 mm de ancho, con vesículas llenas de un líquido balsámico de olor penetrante y de sabor amargo. Las hojas cotiledonares son 6. El ala es pajiza, ensanchada en el ápice, de 22 a 25 mm de largo (incluyendo la semilla), por 10 a 15 mm de ancho, redondeada hacía adentro y con el borde externo finalmente eroso.

La madera, es blanda, ligera y poco durable, y se emplea para hacer tejamaniles, viguetas, jirones y principalmente para la elaboración de papel, (Vázquez, et al. 1962) además de cucharas para uso doméstico (Guridi, 1980). La trementina de los troncos jóvenes llamada aceite de abeto, trementina de oyamel o aceite de palo, es viscosa, acre y aromática, semitransparente, parecida a la trementina de Venecia, y se emplea en medicina como balsámico, además, en la fabricación de barnices y pinturas, como agente aromatizante de jabones, desinfectantes, desodorantes, detergentes y perfumes, (Vázquez, et al 1962; Espinoza, 1996). Según la Farmacopea Mexicana contiene aceite volátil, ácido abiético, ácido succínico, y una substancia particular llamada abietina.

Esta especie vegeta en los estados de Hidalgo, Veracruz, Michoacán, Jalisco, México, Morelos, Guerrero, Puebla, Tlaxcala y Distrito Federal; por lo general, crece en lugares montañosos a altitudes que varían entre 2 600 a 3 500 m.s.n.m.

2.5.1.2. *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw

Nombre común: acalote, ocote, cahuite, pino, sisigüiri, ayacahuite.

Sinonimia obtenida de Olvera (1985):

Pinus veitchii, Roezel

Pinus bonapartea, Roezel

Pinus loudoniana, Roezel

Se conocen cerca de 100 especies diferentes de pinos, la mayoría son originarios de las zonas templadas y mediterráneas de Europa, Asia y Norteamérica, (Geilfus 1989). En México, se encuentra una gran diversidad del género *Pinus*, caracterizándose a esta región del continente como un centro secundario de especiación; con una gran riqueza en volumen y diversidad genética, lo que ha sustentado a la industria forestal con la cosecha de los bosques naturales, que son regenerados a partir de tratamientos silvícolas apropiados (Eguiluz, 1988). Una de las especies de pino más importante en México, es el *Pinus ayacahuite* debido a la gran utilidad que tiene la madera para la elaboración de muebles de calidad.

El *Pinus ayacahuite*, se distribuye desde los estados del Norte: Sonora, Chihuahua, y Nuevo León, hasta Guatemala y Honduras, (Mirov, 1967), esta especie se subdivide en tres variedades: la primera *brachiptera* Shaw, en el Norte del país, donde aparentemente es el mismo que *Pinus strobiformes* Engelm; la segunda, *veitchii* Shaw del centro de México y la variedad *ayacahuite* del Sur de México y América Central (Mirov 1967; Wright, Marin y Dvorak 1996).

El *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, es considerados como uno de los pinos más grandes de México. Es un árbol de hasta 30 m de altura y alcanza un diámetro de 70 cm (Martínez, 1948; Olvera, 1985), en algunos lugares presenta diámetros de hasta 2 m (Perry, 1991). La copa en los árboles maduros es abierta e irregular, mientras que en los jóvenes es cónica, las ramas son extendidas y frecuentemente verticiladas (Martínez, 1948; Perry, 1991).

La corteza en los árboles jóvenes es delgada, lisa y grisácea, mientras que en los viejos es áspera, grisácea oscura y dividida en pequeñas placas irregulares (Martínez, 1948; Mancera, 1956). Presenta hojas delgadas, flexibles, en grupos de 5, de 10 a 18 cm de longitud, de color verde oscuro en la zona externa o superficie dorsal, y glaucas en la superficie ventral o caras internas, agrupadas en la extremidad de la ramilla, algo caídas; bordes aserrados con los dientecillos muy pequeños y espaciados (Martínez, 1948; Perry, 1991).

Los conos, generalmente son más largos y anchos que los de *Pinus ayacahuite* var *ayacahuite,* llegan a medir hasta 45 cm de longitud siendo subcilíndricos, un poco encorvados, colgantes, por lo general en pares, de color amarillento, con tinte ocre, brillantes cuando son jóvenes y opacos y caedizos al madurar, son muy resinosos. Cuando comienzan a dar semilla, los primeros conos caen junto con el pedúnculo, el cual llega a medir de 15 a 20 mm (Martínez, 1948; Perry, 1991).

La semilla es de color café oscuro, mide de 10 a 13 mm de largo, con ala de 10 a 20 mm por 6 a 10 mm de ancho, (Martínez, 1948).

La madera es suave, de color amarillento, ligera y no es muy resinosa, de buena calidad y es muy apreciada para construcciones, puertas, ventanas y muebles, (Perry, 1991), y también en aserrío, chapa, pulpa para papel, postes, artesanías, artículos decorativos, juguetes, material didáctico y artículos escolares (Olvera, 1985).

El *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, vegeta en el centro de México, en los estados de Jalisco, Michoacán, Morelos, Estado de México, Guerrero, Puebla, Tlaxcala, Hidalgo, Veracruz y Distrito Federal (Martínez, 1948; Olvera, 1985; Perry, 1991); crece disperso en sitios pequeños, generalmente en alturas de 2 000 a 3 000 m.s.n.m. Su mejor crecimiento se da en sitios húmedos, sombreados y fríos, esta especie no crece en ambientes áridos o secos, (Perry, 1991).

2.5.2. Descripción microscópica de la madera

2.5.2.1. *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlechtendal et Chamisso

Los anillos de crecimiento están bien definidos, con transición gradual entre la madera de primavera y la de verano. El número de hileras de traqueidas de la madera de primavera varía de 90 a 120 y su grosor de 4200 a 5400 μ, mientras que en la de verano encontramos de 20 a 30 hileras y un grosor de 600 a 900 μ (Ortega, 1952 y Huerta, 1978).

Las traqueidas en la madera de primavera son de sección poligonal irregular, de paredes muy delgadas (3 μ de grosor) presentan un diámetro que va de 15 a 78 μ y media de 42.10 μ (Huerta, 1978). Las traqueidas de la madera de verano están comprimidas tangencialmente y por lo tanto su sección transversal es poligonal irregular y frecuentemente rectangular con algunas esquinas redondeadas, de paredes delgadas o gruesas de 3 a 7 μ diámetro de 10 a 58 μ y una media de 26.50 μ; el número mínimo de traqueidas por mm^2 es de 448 y el máximo de 1872 con una media de 859.20 traqueidas (Ortega, 1962; Huerta, 1978).

En la sección longitudinal tangencial las traqueidas son lisas, de tracto rectilíneo y en las paredes laterales se observan las puntuaciones areoladas de perfil; en la madera de verano se ven de frente pero más pequeñas. En sección longitudinal radial, presentan puntuaciones areoladas dispuestas en una hilera vertical, a veces en la madera de

primavera se observan pares consecutivos en disposición opuesta de forma circular o elíptica de unas 25 μ de diámetro con abertura circular; la longitud de las traqueidas varia desde 1800 hasta 5400 μ con una media de 3498 μ (Huerta, 1978).

En la sección radial es fácil observar las paredes horizontales del parénquima de rayo con abundantes puntuaciones, así como paredes transversales nodulares. En el campo de cruzamiento se observan de 1 a 3 puntuaciones tipo taxodioide en posición variable, (Huerta, 1978).

Los rayos leñosos son homogéneos, uniseriados, algunos parcialmente biseriados o con células agregadas; están constituidos por células de forma circular o elípticas con longitudes de 13 a 35 μ y una media de 19.75; encontrando desde 2 hasta 23 células con una media de 8.12 células. La altura de los rayos se encuentra entre 50 y 650 μ y media de 199; presentan anchos entre 10 y 28 μ, con una media de 16.90; el número de rayos encontrado por mm es de 5 a 10 con media de 7.23 rayos por mm, (Ortega, 1962; Huerta, 1978).

2.5.2.2. *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw

Las traqueidas presentan un engrosamiento en espiral no visible en la sección tangencial, (Mancera, 1956), son de longitud larga (4145 μ) diámetro tangencial de lumen mediano (36 μ) grosor de pared delgado (4 μ) en la madera temprana y en la madera tardía encontramos un diámetro tangencial del lumen mediano (26 μ) y grosor de pared delgado (6 μ) (Olvera, 1985).

Sus características radiales presentan una hilera de puntuaciones areoladas, los rayos sin canales son uniseriados, de tipo homogéneo, de 3 - 26 células de altura, la mayoría de 12, poco numerosos (4 μ) y medianos (519 μ). Los rayos con canal presentan de 2 a 3 series de células cercanas al canal, con extremos largos. En los campos de cruzamiento se ven de 1 a 2 puntuaciones de tipo fenestroide; las traqueidas de rayo presentan bordes lisos, los canales resiníferos con epitelio de pared delgada se encuentran en número de 4 x mm^2, los longitudinales son poco numerosos por mm^2 (2u), de diámetro tangencial mediano (127 μ) y los radiales de diámetro tangencial pequeños (54 μ) y parénquima axial ausente (Mancera, 1956; Olvera, 1985).

2.5.3. Descripción macroscópica de la madera

2.5.3.1. *Abies religiosa* (H.B.K.) Schlechtendal et Chamisso

Presenta una albura de color amarillo pajizo, muy pálido; el duramen es amarillo con tinte castaño claro. Sin olor, sabor, ni brillo característico, textura mediana, hilo recto y veteado suave, (Ortega 1952; Huerta 1978; Guridi 1980). Los anillos de crecimiento están dispuestos concéntricamente, con una gran variación de color y grosor; la madera de verano es de color castaño claro y de menor grosor (0.36-2.00 mm), que la de primavera (3.35-6.10 mm), cuyo color es más claro. La transición entre las dos maderas es gradual. Los rayos son visibles a simple vista y de tamaño variable en sección transversal; en las secciones tangenciales y radiales son visibles con la ayuda de una lupa (Ortega, 1952; Huerta, 1978).

2.5.3.2. *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* Shaw

La madera es de color blanco amarillento sin diferencia entre albura y duramen (Mancera, 1956; Olvera, 1985); la madera temprana es rosa y la tardía castaño claro (Olvera, 1985), con olor resinoso y sabor no característico, brillo bajo, veteado suave, textura media e hilo recto. Anillos de crecimiento marcados por una banda clara de madera temprana y una banda angosta y oscura de madera tardía (Mancera, 1956; Olvera, 1985); su anchura es homogénea, la madera temprana ocupa más de la mitad del total de cada anillo, los que se presentan de 5 a 8 en 2.5 cm; la transición entre madera temprana y tardía es gradual; los rayos se ven a simple vista en las caras transversal y radial (Olvera, 1985); los canales resiníferos son visibles a simple vista en la sección transversal, y se encuentran distribuidos uniformemente en la parte exterior del anillo de crecimiento, siendo muy numerosos (Mancera, 1956).

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Fase de campo

3.1.1. Lugar de colecta del material

El material utilizado para el presente trabajo se colectó en el paraje Cruz Alta del predio Fraccionamiento II de Atlamaxac, Municipio de Chignahuapan, Puebla (Fig. 1); a una altitud de 3020 msnm. Con una pendiente del 20 % a exposición Noreste, dentro de las coordenadas, 19° 43' 45'' Norte y 98° 00' 45'' Oeste, con una precipitación media anual de 750 mm, siendo septiembre el mes más lluvioso y diciembre el mes más seco. La temperatura media es de 13.6° C, la temperatura más baja se presenta en diciembre y el mes más caluroso es mayo. Estas especies se encontraron asociadas con *Pinus patula*,. *Alnus* sp., *Arbutus* sp y *Quercus* sp. como las principales especies arbóreas.

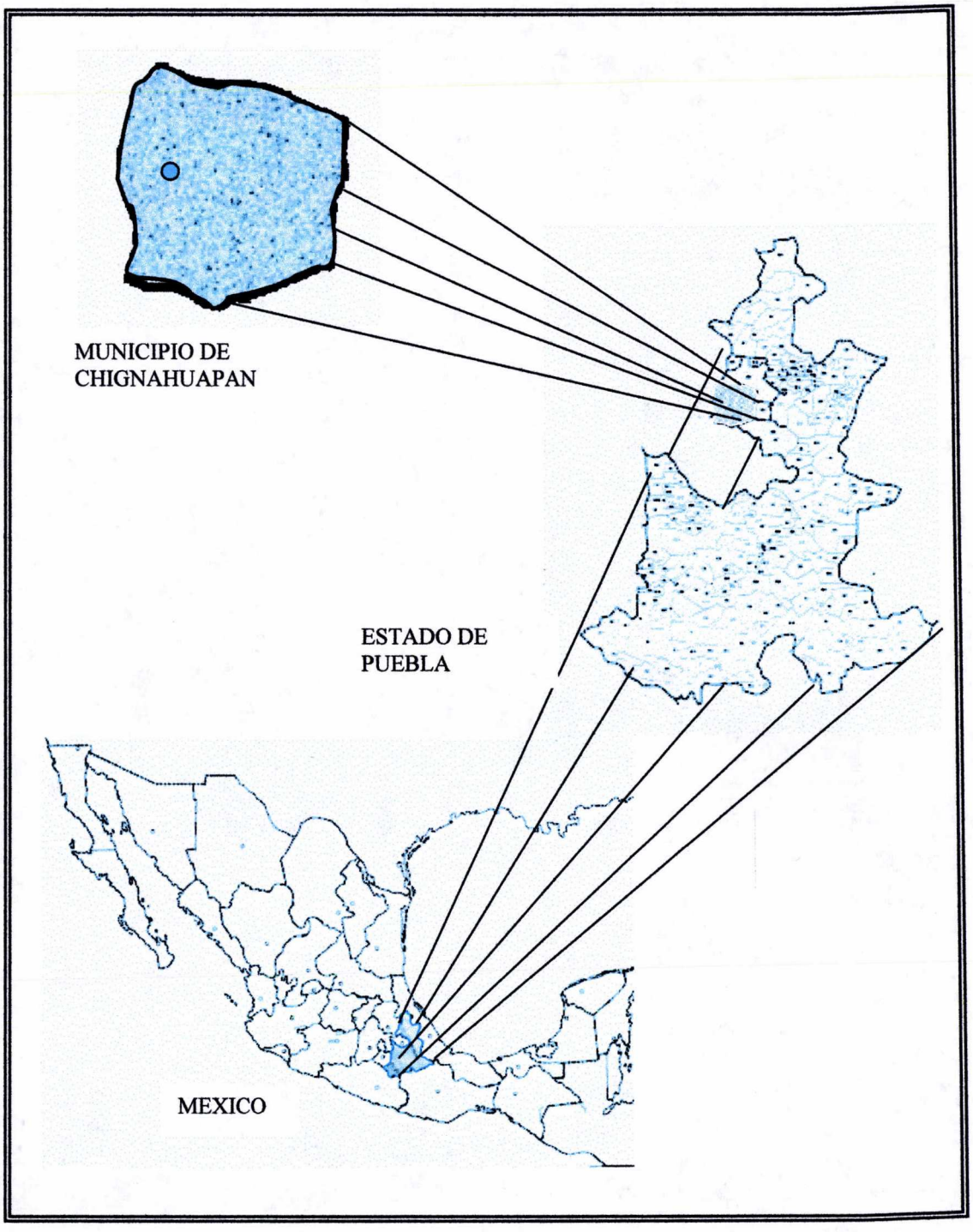
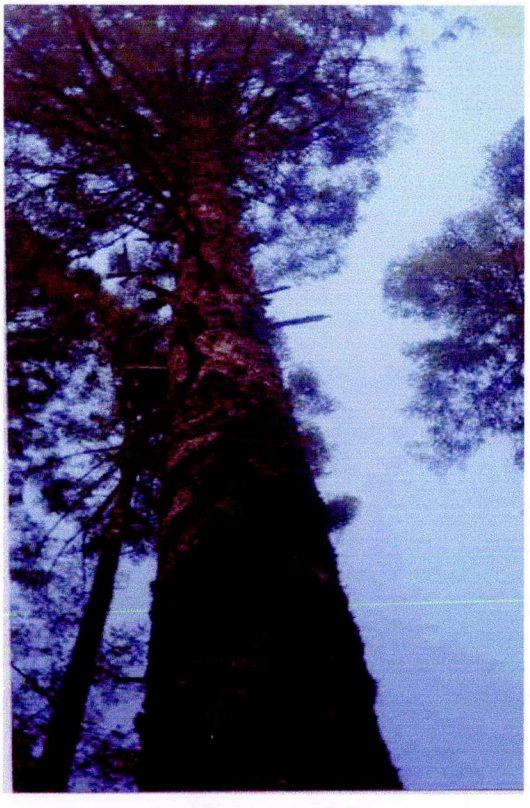


Fig. 1. Ubicación del área de estudio.

3.1.2. Colecta del material

De cada especie se seleccionó un árbol representativo de la masa forestal, libre de plagas, enfermedades y daños físicos. El *Abies religiosa* presentó un diámetro normal de 0.52 m y una altura de 29.2 m (Fig. 2a). El *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* tuvo un diámetro normal de 0.40 m y una altura de 28.2 m (Fig. 2b).



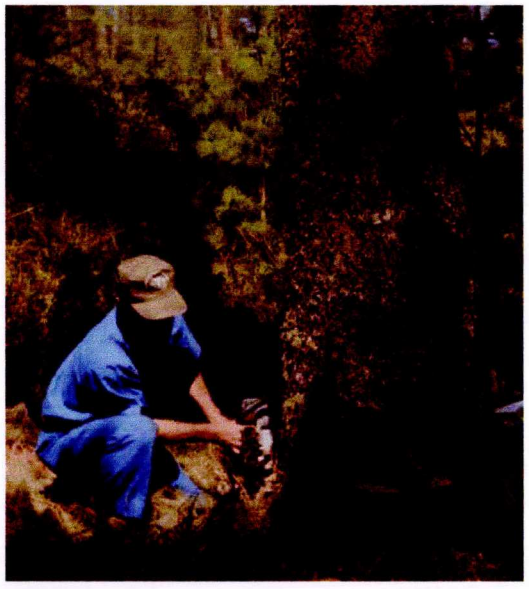
a) Abies religiosa



b) Pinus ayacahuite var. *veitchii*

Fig. 2. Especies utilizadas en la investigación.

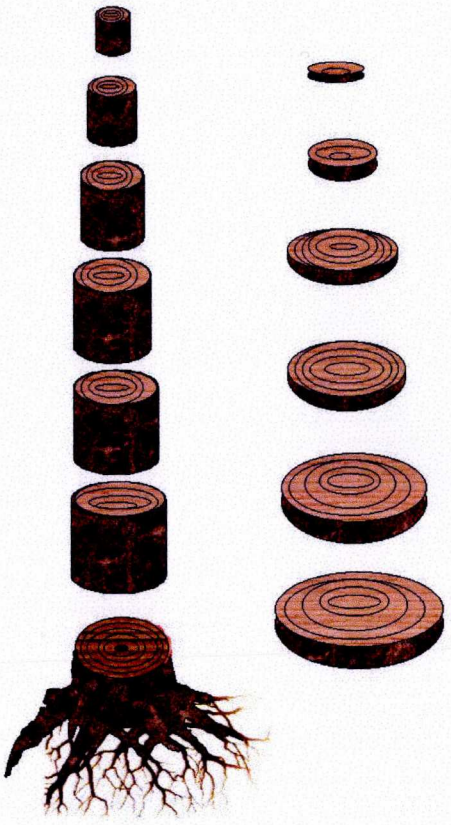
El árbol se derribó a 30 cm sobre la superficie del suelo (Fig. 3a) y posteriormente se cortaron rodajas de 5 cm de espesor (Fig. 3b) a lo largo del fuste a cada 1.30 m de altura (Fig. 3c), indicando el Norte, Sur, Este y Oeste.



a) Derribo



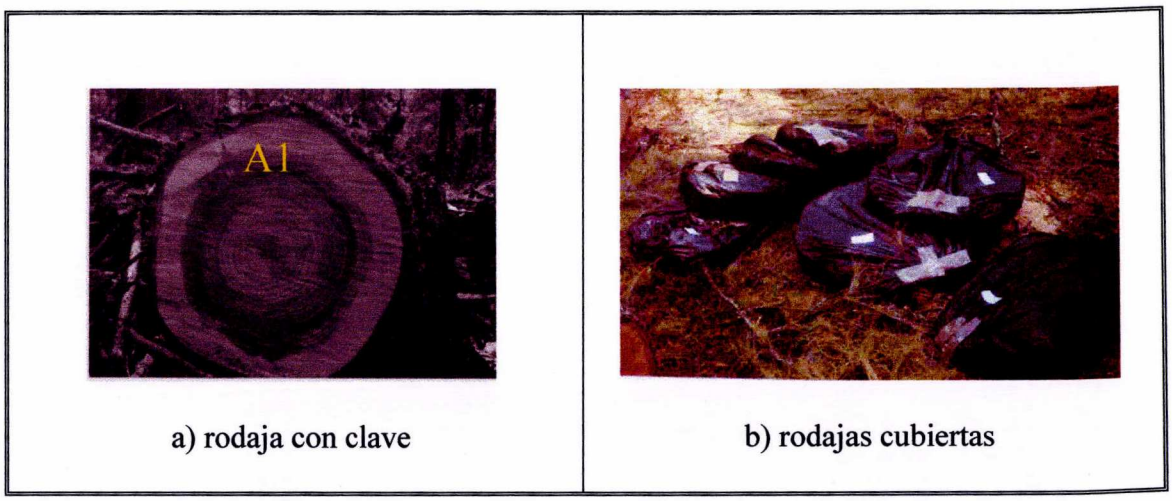
b) Grosor de rodaja



c) Obtención de rodajas

Fig. 3. Colecta del material en campo.

Todas las rodajas se numeraron con una clave para su control e identificación (Fig. 4a), y se introdujeron en bolsas de polietileno, selladas con cinta adhesiva para ser transportadas al laboratorio y evitar así la pérdida de humedad (Fig. 4b).



a) rodaja con clave

b) rodajas cubiertas

Fig. 4. Identificación y forma de transportar las rodajas.

De cada árbol se colectaron cinco muestras botánicas, con las ramillas, hojas y conos en buen estado, para ser transportadas al herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo para su posterior identificación.

3.2. Fase de laboratorio

3.2.1. Preparación del material

Cada una de las rodajas fue dividida en segmentos (Fig. 5). La parte Norte y Sur se subdividieron en secciones a y b, de donde se extrajeron las probetas para determinar la densidad básica, el contenido de humedad y la longitud de traqueidas.

Se realizó lo mismo en el lado Este y Oeste, utilizando estas secciones para la obtención de los datos necesarios para el cálculo de las contracciones lineales y volumétricas. El procedimiento seguido para la determinación de cada una de las variables mencionadas se indica en su respectiva sección.

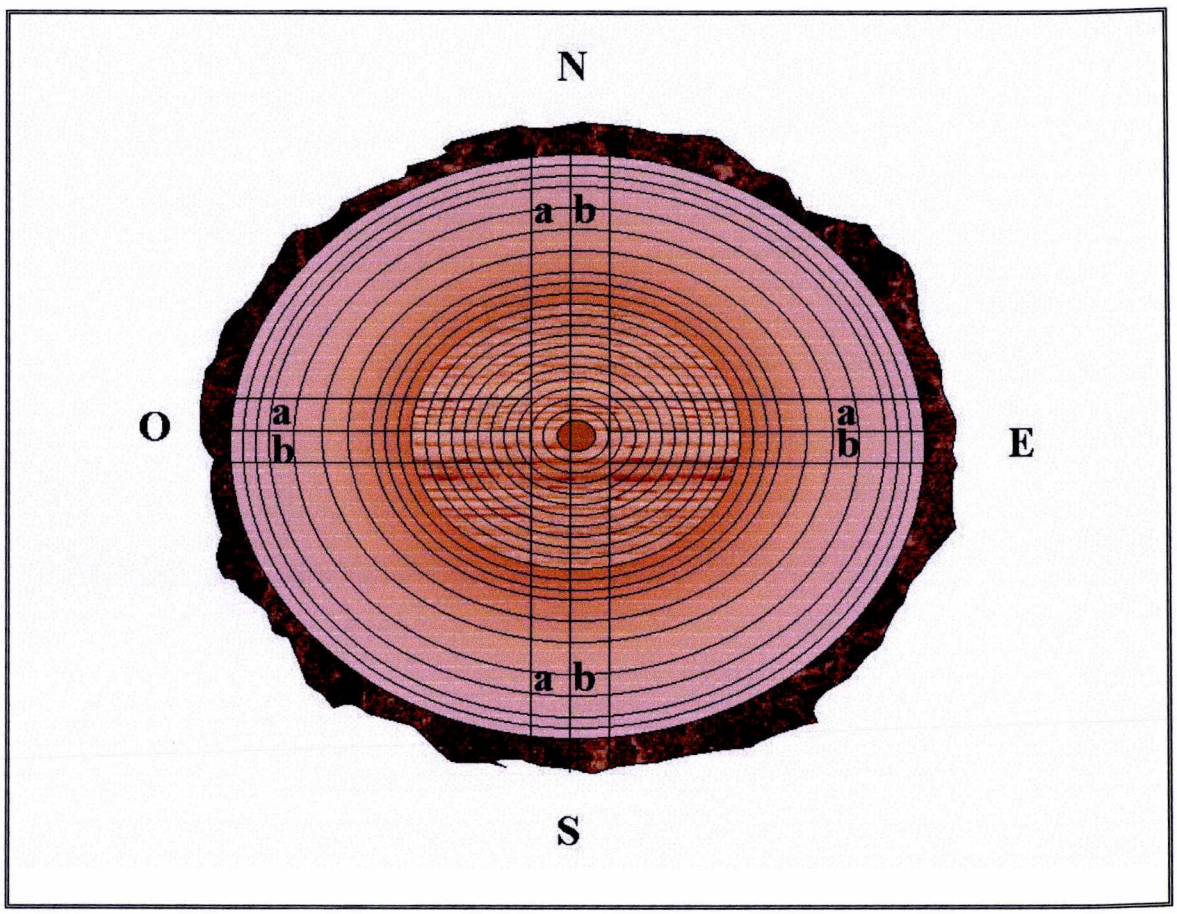


Fig. 5. Corte transversal de la rodaja. Sección N y S utilizada en la determinación de la densidad básica, contenido de humedad y longitud de traqueidas. Sección E y O utilizada en la obtención de las contracciones

3.2.2. Medición de las dimensiones de las traqueidas

Para determinar esta característica, se cortaron pequeñas secciones a cada cinco anillos de crecimiento, en dirección Norte-Sur para cada altura y especie (Fig. 5). De cada sección de cinco anillos a partir de la corteza se cortaron astillas que fueron colocadas en frascos con una solución de ácido acético y peróxido de hidrógeno en partes iguales, cubiertos con papel aluminio y sellados con cinta adhesiva.

Los frascos se colocaron en una estufa a una temperatura de 60° C durante 15 horas aproximadamente, para que se disociara el material; posteriormente se lavó con agua destilada para eliminar los residuos de la solución disociante, la tinción se realizó con pardo de Bismarck, safranina y fushina, aplicándose de 2 a 3 gotas y dejándose reposar durante cinco minutos, encontrando buenos resultados con los tres colorantes. Para hacer las mediciones se realizaron preparaciones temporales con agua.

Teñido el material se realizó un premuestreo para determinar el tamaño de muestra basándose en la variabilidad presentada, midiendo traqueidas de seis alturas distribuidas a lo largo del árbol y apoyados por la fórmula que se muestra más adelante, se utilizaron 20 traqueidas a medir por cada sección de cinco anillos.

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

donde: n = Tamaño de muestra, t = t de Student con $\alpha = 0.5$;
S^2 = Varianza y E = Tamaño del error aceptable que fue de 5 %.

Las mediciones se llevaron a cabo en un microscopio de pantalla marca Carl Zeiss, con la ayuda de una regla graduada, los valores de longitud se tomaron con el objetivo de 2.5x; los de diámetro de lumen y diámetro total con el objetivo de 40x, a los valores encontrados se les aplicó un factor para convertir los valores obtenidos por medición directa a micras, utilizando el de 380.95 para los valores de longitud.

A los valores de longitud de traqueidas, se les calculó la media mediante una hoja de cálculo y se procedió al análisis y elaboración de los perfiles de variación en sentido transversal y longitudinal.

3.2.3. Evaluación del contenido de humedad

En este estudio se utilizó el método por pesadas sucesivas para determinar el contenido de humedad, por ser uno de los más exactos y recomendados para especies con menor cantidad de extractivos (Kollmann, 1959). Para esto se cortaron pequeñas secciones a cada cinco anillos de crecimiento, en dirección Norte-Sur para cada altura y especie (Fig. 6).

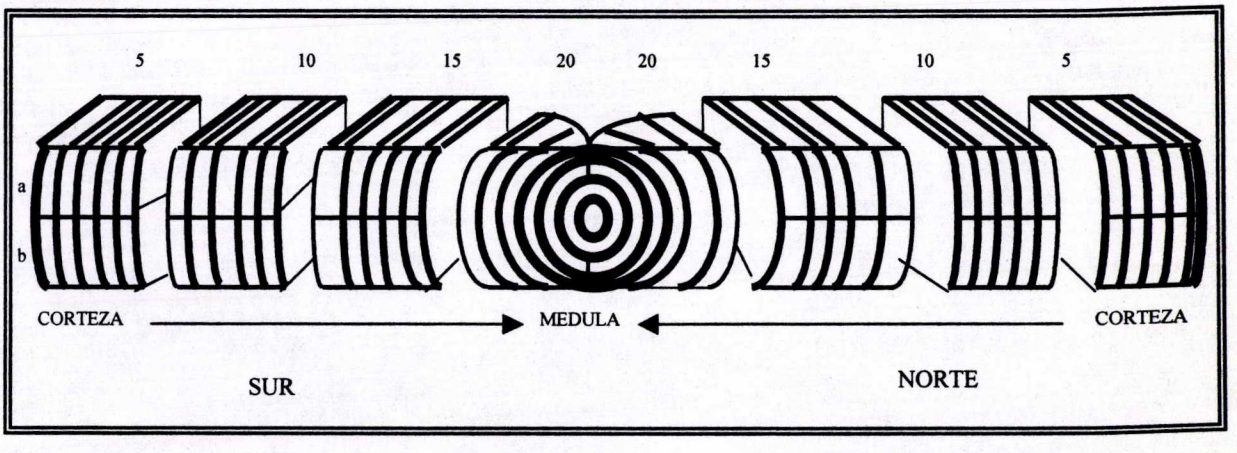


Fig. 6. Forma de obtener las secciones para determinar el contenido de humedad en cada especie y para cada altura.

Cada una de las secciones se pesaron en estado verde en una balanza analítica con una precisión de centésimas de gramo, posteriormente fueron colocadas en una estufa a una temperatura de 103 ± 2° C durante 48 horas aproximadamente, para después volver a tomar los datos de peso en estado anhídro, con los cuales se calculó el contenido de humedad de las muestras de madera, con el apoyo de la fórmula reportada por Kollmann (1959), con los valores encontrados se procedió al análisis, discusión y reporte de los resultados.

$$C.H. = \frac{Ph - Po}{Po} * 100$$

donde: $C.H.$ = Contenido de humedad; Ph = Peso inicial de la madera.
Po = Peso anhidro.

3.2.4. Obtención de la densidad básica

Para determinar la densidad básica, se evaluaron las mismas secciones utilizadas en el cálculo del contenido de humedad (Fig. 6). Obteniendo el peso y volumen en estado verde y en estado anhídro. El peso fue el mismo que se utilizó para determinar el contenido de humedad, mientras que el volumen, se calculó por medio del desplazamiento de agua.

Con los datos de peso anhídro y volumen verde, se calculó la densidad básica, aplicando la fórmula reportada por Fuentes (1995).

$$Db = \frac{Po}{Vv}$$

donde: *Db.* = Densidad básica; *Po* = Peso anhídro de la madera.
Vv = Volumen verde.

Con los datos promedio de la densidad básica, se obtuvieron los perfiles de variación, en sentido transversal y longitudinal del fuste;

3.2.5. Determinación de las contracciones volumétricas y lineales

Las contracciones pueden determinarse en forma volumétrica y lineal, en los ejes tangencial y radial; en el eje axial casi nunca se calculan por ser demasiado pequeñas, (Fuentes, 1995). El cálculo se realizó desde el estado verde hasta el anhídro y a un contenido de humedad en equilibrio con el ambiente.

Para determinar las contracciones en este trabajo se utilizaron las muestras señaladas con orientación Este y Oeste (Fig. 5). Las probetas se separaron en secciones de cinco anillos a partir de la corteza y hasta donde se lograron obtener fragmentos con los requisitos necesarios para considerarse como cortes típicos tangencial y radial (Fig. 7); los más cercanos a la médula no se consideraron por presentar cortes diagonales que no serían de utilidad al determinar las dimensiones utilizadas en el cálculo de las contracciones.

En cada sección de cinco anillos se marcó la dirección tangencial y radial en dos lugares (Fig. 8), para obtener un promedio que permitiese conocer el cambio dimensional en el centro de la madera.

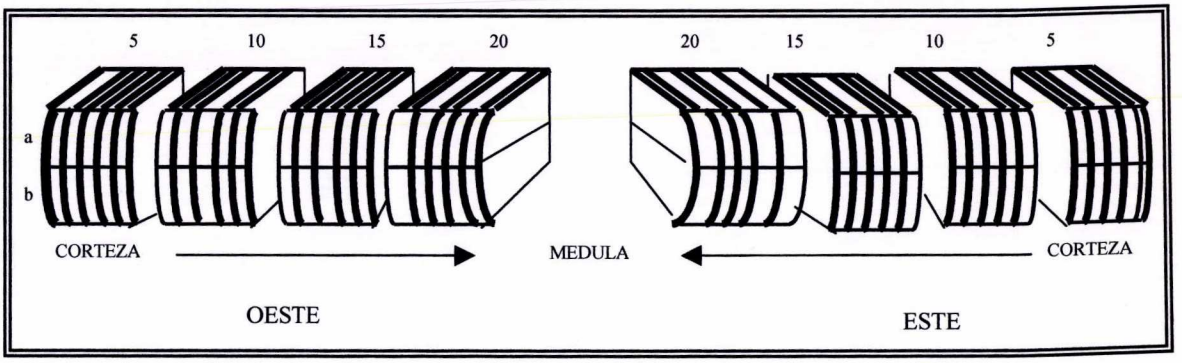


Fig. 7. Forma de obtener las secciones para determinar las contracciones de cada especie y para cada altura.

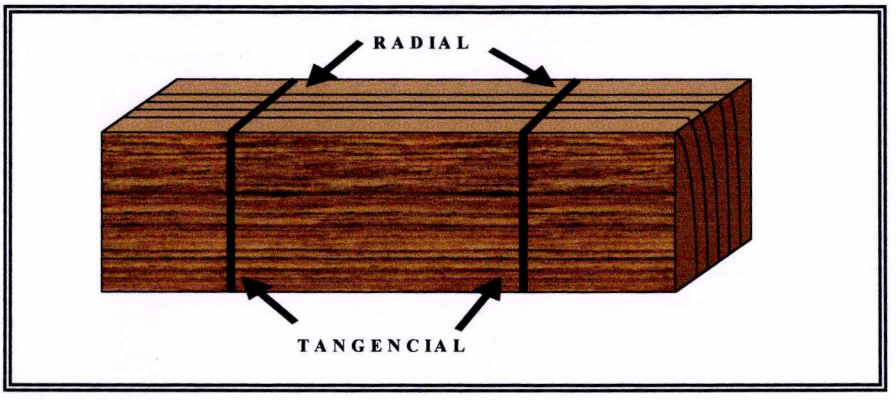


Fig. 8. Lugar donde se tomaron las dimensiones en dirección radial y tangencial, para cada una de las probetas.

A cada probeta marcada e identificada adecuadamente, se le tomaron los datos de peso, volumen y dimensiones en dirección radial y tangencial, se tomaron dos valores para cada dirección a los que se les determinó la media, la cual fue utilizada en el cálculo de las contracciones.

Para el peso se utilizó una balanza analítica marca Ohaus, con aproximación de 0.01 gr, el volumen se determinó por el método de desplazamiento de agua, los valores de las dimensiones se realizaron con la ayuda de un vernier digital con aproximaciones de milésimas de mm.

Los datos fueron determinados en estado verde, posteriormente se colocaron en rejillas hasta equilibrarse con el medio ambiente lo que duró aproximadamente 3 semanas y por último se colocaron en una estufa a temperatura de 103 ± 2° C por espacio de 48 horas para obtener los datos en estado anhídro.

Con los valores encontrados se determinó el contenido de humedad, las contracciones volumétricas, las contracciones radiales y tangenciales, totales, utilizando las fórmulas presentadas por Fuentes (1995).

$$\%Bv = \frac{Vv - Vo}{Vv} * 100 \qquad \%\beta T = \left(\frac{Tv - To}{Tv}\right) * 100 \qquad \%\beta R = \left(\frac{Rv - Ro}{Rv}\right) * 100$$

donde:

$\%\beta v$ = Contracción volumétrica total. $\%\beta T$ = Contracción tangencial total.

$\%\beta R$ = Contracción radial total.

Vv = Volumen verde. Vo = Volumen anhidro.

Tv = Dimensión tangencial verde. To = Dimensión tangencial anhidra.

Rv = Dimensión radial verde. Ro = Dimensión radial anhidra.

Los valores encontrados se ordenaron y se utilizaron para el análisis estadístico más adecuado, y se procedió a la elaboración de los perfiles de variación para cada una de las contracciones calculadas (volumétricas, tangenciales y radiales).

3.3. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico se realizaron los gráficos de dispersión para saber que tipo de modelo o modelos describían mejor la tendencia basándose en el comportamiento de los valores calculados para cada una de las variables estudiadas. Se probaron regresiones lineales simples las que fueron suficientes para estimar el valor de las contracciones volumétricas, radiales, densidad básica y contenido de humedad para ambas especies.

En longitud de traqueidas se probó el modelo de crecimiento de Schumacher $Y = B_0 * e^{-B1/edad}$ (Schumacher, 1939), con los valores ajustados se procedió a realizar las gráficas donde se muestran los resultados con los valores estimados para todas las variables en las dos especies.

Para presentar los perfiles de variación de todas las variables y de las dos especies, los valores reales se agruparon en rangos establecidos basándose en los valores máximos, mínimos y la media, de tal suerte que la distribución fuera lo más aleatoria posible y que incluyera a todos los valores encontrados.

4.-RESULTADOS Y DISCUSION

Los resultados promedio encontrados para ambas especies se presentan en el cuadro 1, donde se observan los valores mínimos, máximos y la media de cada una de las variables estudiadas.

Cuadro 1. Valores medios, mínimos y máximos de cada una de las variables estudiadas por especie.

VARIABLES	*Abies religiosa*			*Pinus ayacahuite* var. *veitchii*		
	Mínimo	Media	Máximo	Mínimo	Media	Máximo
Longitud de traqueidas (micras)	18756.17	4477.43	6851.38	1996.17	4395.03	6476.15
Densidad básica (gr/cm^3)	0.14	0.36	0.59	0.28	0.36	0.50
Contenido de humedad (%)	52.85	166.15	425.92	96.66	181.60	271.28
Contracción radial (/%)	1.74	5.46	9.85	1.02	3.88	7.28
Contracción tangencial (/%)	4.68	10.76	13.63	3.02	8.53	11.78
Contracción volumétrica (/%)	6.11	16.33	21.57	5.15	12.59	17.94
Relación de anisotropía	1.96			2.19		

Con relación a la longitud de traqueidas se observa que el valor promedio encontrado en *Abies religiosa* difiere de lo reportado por Huerta (1978), que fue de 3498 micras, el material para disociar se obtuvo a una altura de 3 m. Larios (1979), encuentra una media de 3 755 micras obteniendo los datos a una altura de 1.3 m. El valor más alto encontrado en este trabajo puede deberse a que es la media de datos tomados en todo el árbol en sentido transversal y longitudinal Norte y Sur, que difiere de los otros autores, lo que

manifiesta la gran variabilidad que se puede presentar en todo el árbol y que repercute en la obtención de los valores promedio para la longitud de traqueidas en *Abies religiosa*. Con respecto a *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* no hay antecedentes de valores de longitud de traqueidas, por lo que no es factible la comparación entre estudios sobre la misma especie.

Al comparar los valores entre las dos especies se observa que el *Abies religiosa* presenta una longitud de traqueidas ligeramente mayor que el *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, lo que puede estar influenciado por las condiciones de crecimiento, ya que el *Abies religiosa* requiere de suelos más profundos lo que ocasiona un mejor desarrollo en sus características anatómicas, y al colectarse, a pesar de que fueron del mismo lugar el *Abies religiosa* se encontraba en la parte más baja del terreno y el *Pinus ayacahuite* en la ladera.

En la densidad básica de la madera, se encontró que de acuerdo a la clasificación dada por Torelli (1982), la madera de las dos especies se clasifica como baja. Los valores encontrados difieren de los reportados por Ortega (1962), quien menciona una densidad básica de 0.40 g/cm^3 para *Abies religiosa*, pero es muy similar a lo encontrado por Echenique y Becerra (1981), quienes reportan un valor medio de 0.37 g/cm^3. El valor de densidad encontrado es similar al que reporta Quiñones (1974), de 0.35 g/cm^3 para *Pinus ayacahuite* de la región de Chignahuapan, Puebla. Entre especies no se encontró una diferencia entre las densidades calculadas lo que puede estar relacionado con la calidad del sitio.

En el contenido de humedad, los resultados muestran que fue ligeramente menor en *Abies religiosa* comparado con el *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* ya que éste presentó un mayor contenido de humedad verde en promedio, pero el *Abies religiosa* presentó un rango más amplio (52.85 – 425.92 %) contra el presentado por el *Pinus ayacahuite* var *veitchii* (96.66 – 271.28 %).

Las contracciones, se clasifican según Fuentes (1995), de la siguiente manera: en *Abies religiosa*, las radiales y tangenciales como muy altas, las volumétricas como altas; en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, las radiales y volumétricas se clasifican como medianas y las tangenciales como muy altas. Al compararlas con otros estudios realizados en *Abies religiosa* se muestra que las contracciones volumétricas encontradas son mayores a las reportadas por Ortega (1962) quien reporta valores de 12.20 % y Echenique y Becerra (1981) que presentan valores de 15.87 %. *En Pinus ayacahuite* var. *veitchii* los valores fueron mayores a los reportados por Quiñones (1974), para *Pinus ayacahuite* de la región de Chignahuapan, Puebla, que presenta contracciones radiales de 1.85 %, tangenciales de 6.39 % y volumétricas de 7.56 % en este caso puede ser afectado por las diferencias genéticas entre las variedades estudiadas.

Entre especies, las contracciones de oyamel son mayores que las de pino, lo que puede deberse a la diferencia en las características anatómicas y genéticas de ambas especies, la densidad no puede ser un factor determinante en este caso ya que presentaron valores muy similares.

Con respecto a la relación de anisotropía de las especies se puede clasificar según Fuentes (1995) como alta, por lo que se puede decir que esta madera no es muy estable con respecto a sus dimensiones, lo que coincide con lo encontrado por Quiñones (1974) para *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* por lo tanto, pueden presentar problemas de defectos en el secado de su madera si no se controla.

4.1. Longitud de traqueidas

Los valores reales encontrados en la medición de la longitud de las traqueidas se presentan en forma de perfiles de variación en dirección transversal y longitudinal para cada una de las especies (Fig. 9 y 10) observando la misma tendencia encontrada con el modelo estadístico (Fig. 11 y 12), lo que puede atribuirse a las características genéticas de los ejemplares estudiados, ya que de acuerdo con Zobel y Talbert (1994) la longitud de traqueidas es una característica altamente heredable entre especies.

Los patrones de variación encontrados en longitud de traqueidas para *Abies religiosa* y *Punus ayacahuite* var. *veitchii*, en dirección transversal y en las dos orientaciones (Norte-Sur), presentaron el mismo comportamiento en todas las alturas estudiadas. En este trabajo, se encontraron las tendencias I y II reportadas por Panshin y De Zeuu (1980), para longitud de traqueidas, la primer tendencia se presenta en la parte baja del árbol (hasta los 4.7 m), donde incrementa la longitud de las traqueidas de la médula hacia la corteza, encontrando un aumento acelerado en los primeros anillos hasta llegar a un punto en donde la longitud comienza a estabilizarse (Duffield, 1964; Tsoumis, 1969; Jane, 1970; Romero, De la Paz Pérez y Corral, 1978; Barefoot y Hankins, 1982; Seth y Agrawal, 1984; Yanchuk y Micko, 1990; Bonilla, 1993; Calixto, 1996).

La segunda tendencia se presenta después de los 4.7 m hasta la copa, en esta parte del árbol la longitud de traqueidas mantiene un incremento constante desde la médula hacía la corteza, con una pendiente más pronunciada en los anillos cercanos a la médula en las alturas intermedias, lo que coincide con lo reportado por Wheeler, Zobel y Weeks (1966); Dood y Power (1986); Vaca, (1992); Walker *et al.*, (1993); Lindström, (1997); Ok y Young, (1997).

La variación encontrada puede ser atribuida a la presencia de madera juvenil en los primeros anillos de crecimiento la cual presenta características diferentes al resto de la madera y se encuentra en la parte central del árbol formando un cilindro que se trunca en la parte superior del árbol (Barefoot y Hankins, 1982; Zobel y Talbert, 1994). Estos patrones de variación pueden deberse a que en la parte baja del árbol ya no existe una actividad cambial tan fuerte como en la parte superior, donde se presentan las condiciones adecuadas de luz que permitan el crecimiento continuo del árbol, (Jane, 1970), por lo que la longitud de las traqueidas está íntimamente relacionada con la velocidad de crecimiento del árbol y los factores del medio ambiente, (Duffield, 1964).

Con respecto a la variación encontrada en el sentido longitudinal del fuste, para las dos especies y las dos orientaciones (Norte-Sur), los resultados muestran el comportamiento reportado por los siguientes autores Tsoumis, (1969); Jane, (1970), Panshin y De Zeeuw, (1980); Barefoot y Hankins, (1982); que consiste en presentar la tendencia de incrementar de la base hacia la parte superior del árbol, hasta un punto cercano a la copa, en donde la longitud empieza a disminuir, por lo tanto, los valores más bajos se encontraron en la parte baja y superior del árbol mientras que los valores más altos se

presentan en la parte media del árbol (Fig. 9, 10, 11 y 12). Lo anterior puede deberse a que en la parte baja, el árbol presenta más competencia por nutrientes en los primeros años de vida, además se encuentra expuesto con más frecuencia a daños físicos causados por incendios, animales y por el hombre, mientras que la parte media del árbol, se encuentra libre del ataque de los factores antes mencionados; por otro lado, en la parte superior, el árbol presenta una mayor proporción de madera juvenil y la gran cantidad de ramas ocasiona que se presenta madera de compresión lo que origina la presencia de traqueidas cortas.

Para el análisis estadístico, se probó el modelo de crecimiento de Schumacher (1939), el que se aplicó linealizado por que fue el que como mejor se ajusto a los valores encontrados en este trabajo, con el cual se analizó la relación que existe entre la edad y altura con la longitud de traqueidas, encontrando que la variable que más influyó fue la edad en todas las alturas, mostrando una alta correlación entre edad y longitud de traqueidas (Cuadro 2) para una $p \geq 0.01$ % siendo altamente significativo, lo que confirma lo encontrado por otros autores como Voorhies y Jameson (1969) para *Pinus ponderosa* y Seth y Agrawal (1984), en *Pinus wallichiana*, donde la edad es la variable que más explica el comportamiento de la longitud de las traqueidas a lo largo del fuste.

Con este modelo se encontraron valores muy altos en las interceptadas (β_0) para las alturas superiores, aunque debe considerarse que fueron pocos los datos analizados; además de que en las partes altas los valores se ajustan mejor a una ecuación lineal simple (Fig. 11 y 12). No obstante, se mantiene la correlación muy alta, con excepción

de la última altura de *Abies*, al realizar las gráficas con los valores estimados de la longitud de traqueidas y los valores reales se mantiene la misma tendencia por lo que se puede decir que este modelo es apropiado para estudiar la variación de la longitud de traqueidas a lo largo del fuste.

En general, los resultados encontrados difieren con lo reportado por Wheeler, Zobel, y Weeks (1966) y Resch y Arganbright (1968), quienes encuentran que se mantiene la misma tendencia a lo largo del fuste para *Pinus taeda*; y *Sequoia sempervirens*, respectivamente, pero estos autores no mencionan si se incluyeron muestras de la copa del árbol.

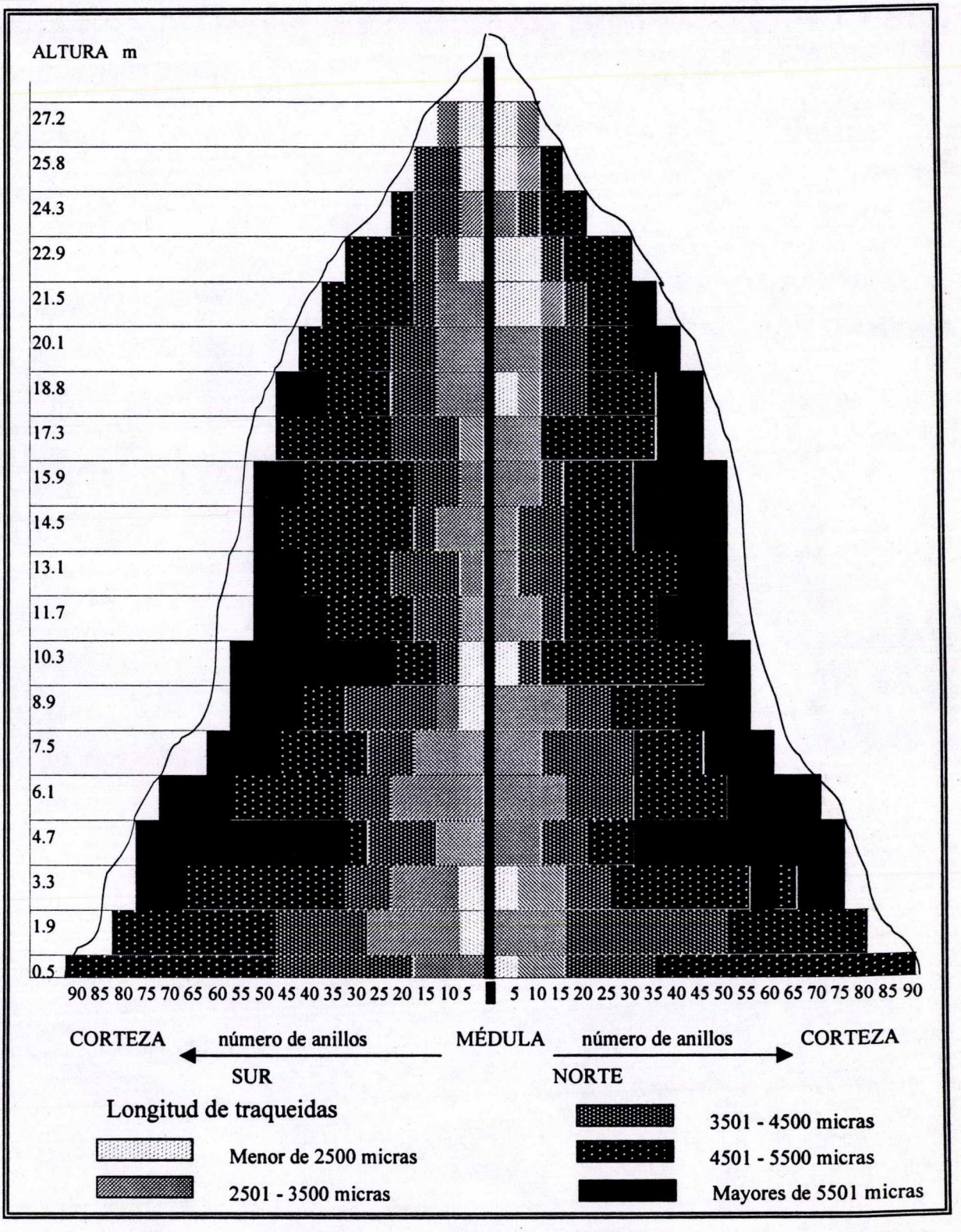


Fig. 9. Perfil de variación de longitud de traqueidas en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Abies religiosa* agrupada en cinco rangos.

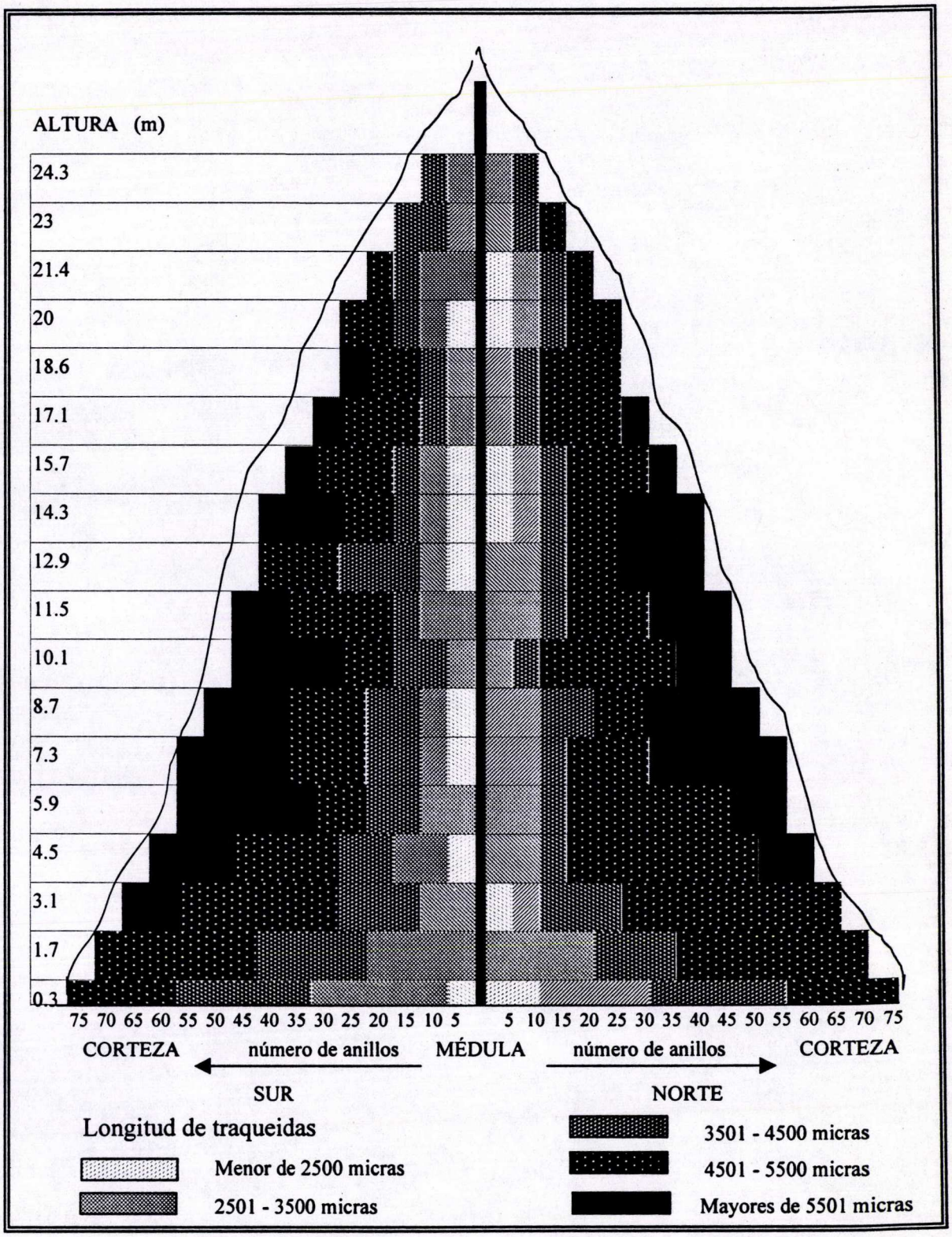


Fig. 10. Perfil de variación de longitud de traqueidas en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* agrupada en cinco rangos.

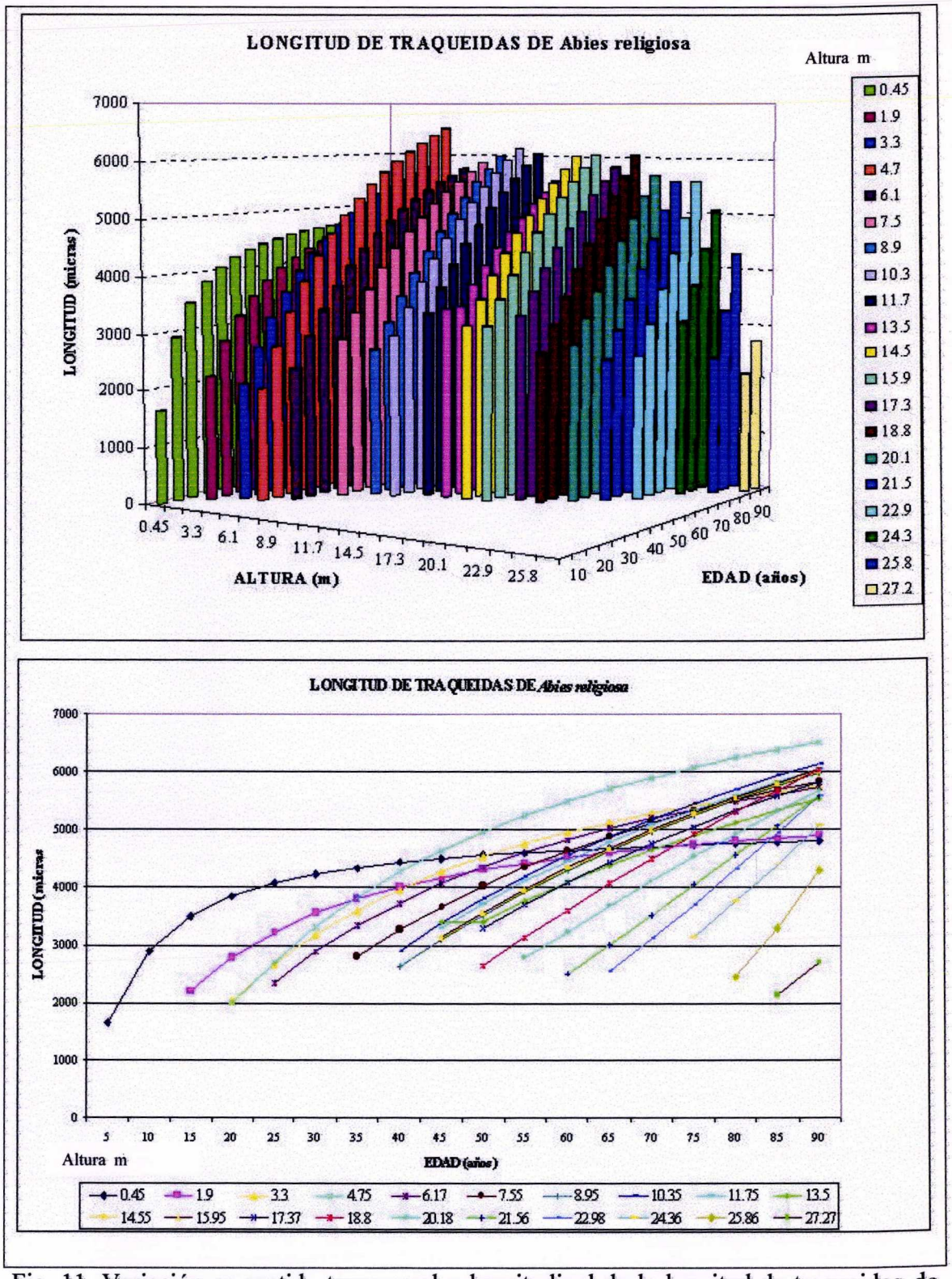


Fig. 11. Variación en sentido transversal y longitudinal de la longitud de traqueidas de *Abies religiosa*, con base en los vlores estimados estadísticamente.

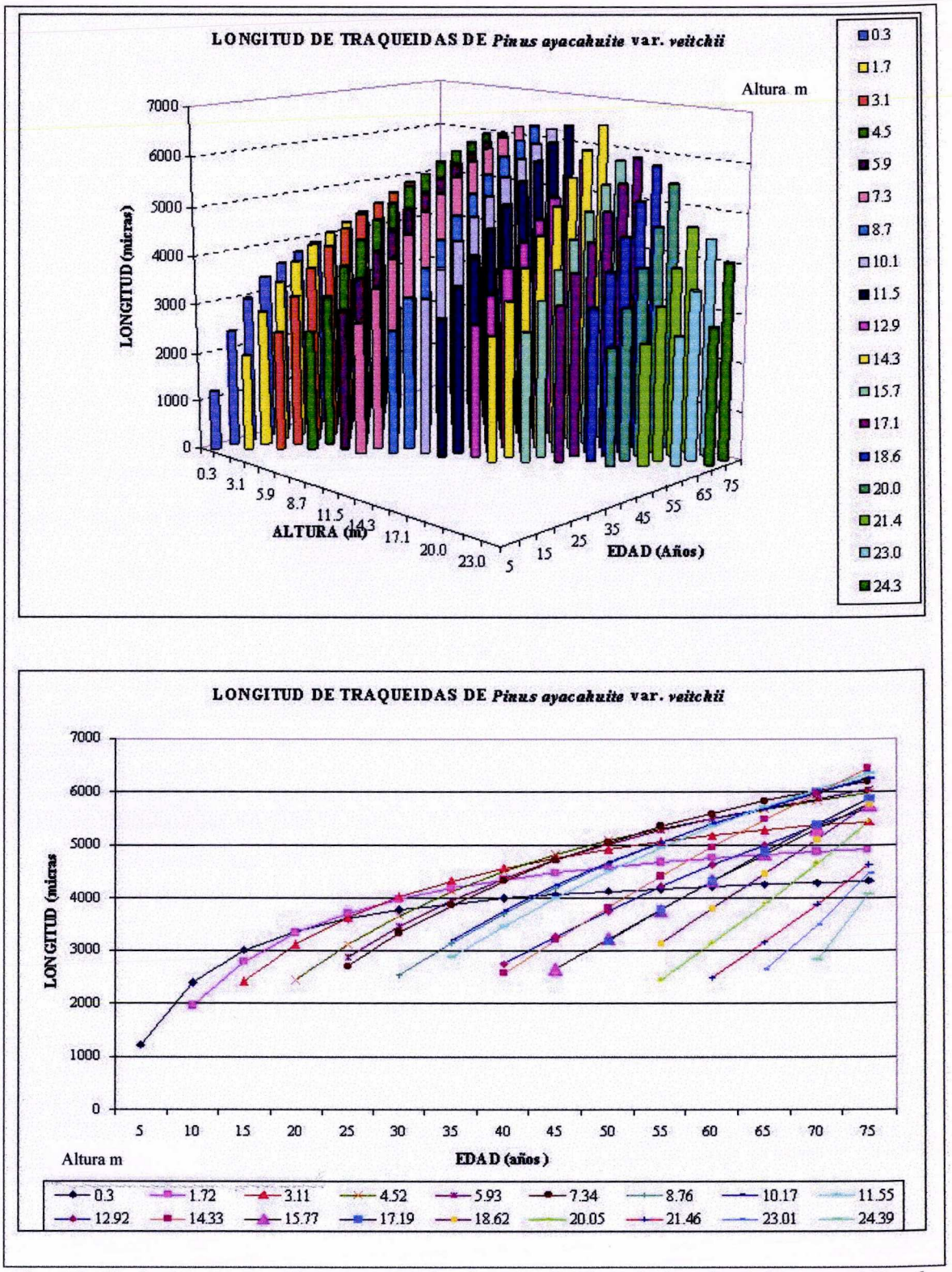


Fig. 12. Variación en sentido transversal y longitudinal de la longitud de traqueidas de *Pinus ayacahuite* var *veitchii,* con base en los valores estimados estadísticamente.

Cuadro 2. Tabla con los valores de los parámetros estimados por el modelo linealizado de Schumacher con respecto a la edad en la longitud de traqueidas.

Abies religiosa				
ALTURA (m)	β_0	β_1	R^2	n
0.45	5105.767157	5.666960	0.8730091	36
1.9	5752.922285	14.470189	0.86210848	32
3.3	7730.330944	26.650240	0.95453405	30
4.75	9125.321630	30.416734	0.95827602	30
6.17	8093.874713	30.972174	0.94521372	28
7.55	9322.655314	41.951888	0.97712913	24
8.95	11622.34666	59.65909	0.97240194	22
10.35	11233.07160	54.19710	0.76553714	22
11.75	11077.03211	54.53102	0.91001808	20
13.5	10141.36243	49.27347	0.95163828	20
14.55	11582.17389	59.11136	0.91658441	20
15.95	11632.52448	59.05476	0.92921806	20
17.37	11803.02359	63.623591	0.90102126	18
18.8	16943.82587	92.78925	0.94802057	18
20.18	17417.58443	100.91355	0.91446426	16
21.56	27697.32441	144.30843	0.93284624	14
22.98	43110.31531	184.01103	0.90243601	12
24.36	54968.49230	214.68304	0.88096391	8
25.86	386486.8289	405.1748	0.92911766	6
27.27	136094.5405	352.8314	0.63636708	4
Pinus ayacahuite var. *veitchii*				
ALTURA (m)	β_0	β_1	R^2	n
0.3	4716.552102	6.742962	0.65510595	30
1.72	5661.719856	10.587988	0.89855988	28
3.11	6650.350118	15.147033	0.95423772	26
4.52	8255.824193	24.320626	0.96035952	24
5.93	8721.719505	27.666770	0.96284658	22
7.34	9385.759923	31.062614	0.96270444	22
8.76	11443.84889	45.18160	0.98406176	20
10.17	11149.08726	43.59882	0.94824891	18
11.55	12743.27763	52.16801	0.98030595	18
12.92	13034.85596	62.25957	0.83523532	16
14.33	18282.48533	78.31534	0.94509089	16
15.77	18369.62969	86.94269	0.94732762	14
17.19	19933.82498	91.65950	0.94309408	12
18.62	30719.95147	125.62395	0.89850848	10
20.05	49239.00353	165.27100	0.97637802	10
21.46	54600.12575	185.15420	0.98021507	8
23.01	128623.7342	252.4231	0.99038349	6
24.39	575463.8112	371.7261	0.93027927	4

β_0 y β_1 = Parámetros estimados R^2 = Coeficiente de correlación n = Número de observaciones

4.2. Contenido de humedad

Los resultados reales encontrados se muestran en los perfiles de variación (Fig. 13 y 14) mientras que los valores estimados para contenido de humedad se muestran en las gráficas (Fig. 15 y 16) para las dos especies estudiadas.

Los valores encontrados para las dos especies en contenido de humedad en sentido transversal, presentan un ligero incremento de la médula hacia la corteza, presentando valores más altos en la albura comparados con el duramen, lo que coincide con lo reportado por diversos autores como Koehler (1924); Kollmann (1959); Hillis (1962); Panshin y De Zeeuw (1980); Desch y Dinwoodie (1981); Shortle y Bauch (1986) y Frühwald, (1986). Esto puede ser atribuido a que la albura presenta células que sirven de conducción de agua y de nutrientes para el árbol (Jane, 1970), por otro lado, cuando los cloroplastos comienzan a descomponerse las sustancias derivadas de éstos comienzan a depositarse en la pared celular y en las cavidades de las puntuaciones de las células de la madera o dentro del lumen, los productos que se obtienen de esta síntesis de elementos son las resinas y gomas que comienzan a bloquear los espacios microscópicos de la pared celular, ocasionando una reducción en la permeabilidad de la madera, presentándose en mayores cantidades en el duramen por lo que éste no presenta grandes contenidos de humedad (Wilson y White, 1986).

El comportamiento encontrado en dirección vertical para ambas especies presenta una disminución del contenido de humedad al aumentar la altura en el árbol, lo cual no coincide con lo reportado por Koehler (1924) y Kollmann (1959), quienes mencionan

que la parte superior del árbol, por presentar mayor cantidad de albura, tiene mayor contenido de humedad. Por otro lado, Panshin y De Zeeuw (1980), mencionan que los contenidos de agua pueden cambiar de una estación a otra y Desch y Dinwoodie (1981) encontró que en las especies que no presentan una clara diferenciación entre albura y duramen el contenido de humedad puede disminuir con la altura del árbol. Otra posible explicación es la que presentan Waring y Running (1978), quienes reportan que la albura es el mejor conductor de agua, pero en los meses de primavera y principios de verano aumenta la transpiración de los árboles, por lo que estos cierran sus estomas para evitar el estrés hídrico, por lo tanto en esta época del año muchas especies de coníferas presentan menor cantidad de agua que en otras estaciones, lo mismo ocurre durante las horas del medio día y tarde, lo que coincide ampliamente con la época y hora de colecta del material utilizado en este trabajo (22 de abril, 13:00 hrs).

Al analizar los resultados desde un punto de vista estadístico, los valores presentados en el Cuadro 3 muestran que la edad en cierta forma explica el comportamiento del contenido de humedad tal como lo indican los valores de los coeficientes de correlación presentados para cada una de las alturas; con respecto a las especies, se observa que la edad se relaciona más en *Pinus ayacahuite* var *veitchii* que en *Abies religiosa*. Los análisis de varianza presentados en el Cuadro 4, muestran que al aumentar la altura en el árbol el contenido de humedad disminuye.

BIBLIOTECA CENTRAL U. A. CH.

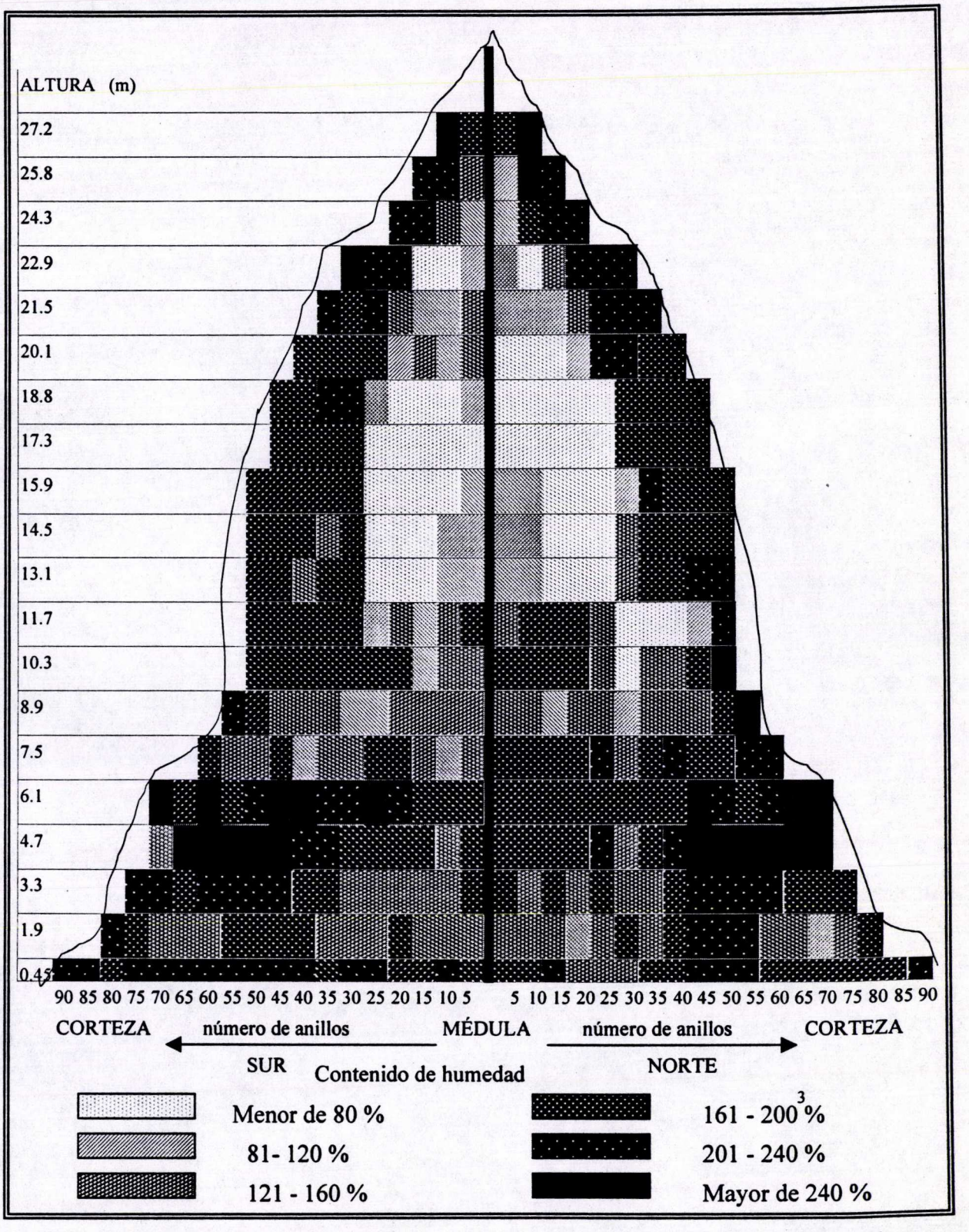


Fig. 13. Perfil de variación del contenido de humedad en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Abies religiosa* con los valores reales agrupada en seis rangos.

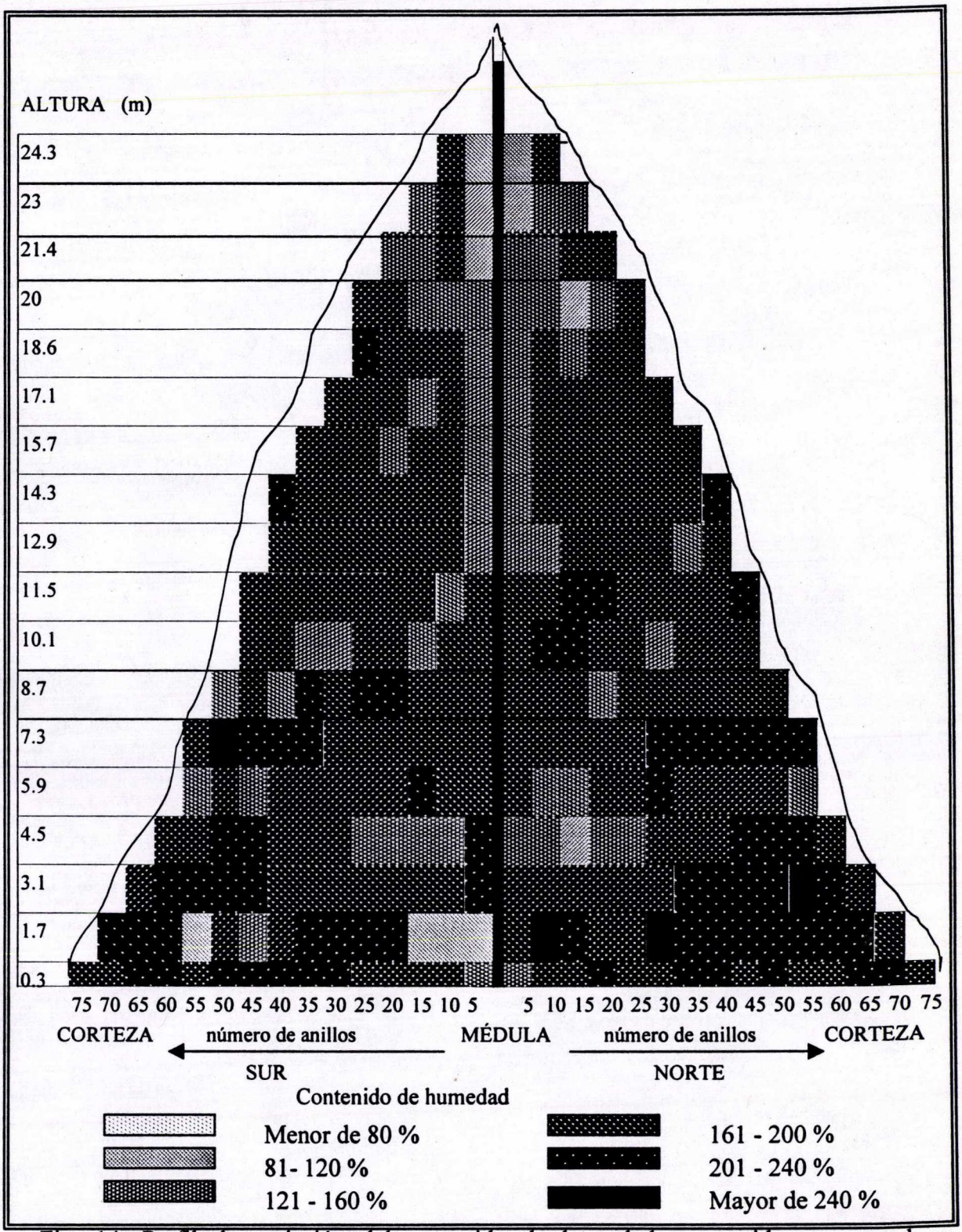


Fig. 14. Perfil de variación del contenido de humedad en sentido transversal y longitudinal del fuste de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores reales agrupada en seis rangos.

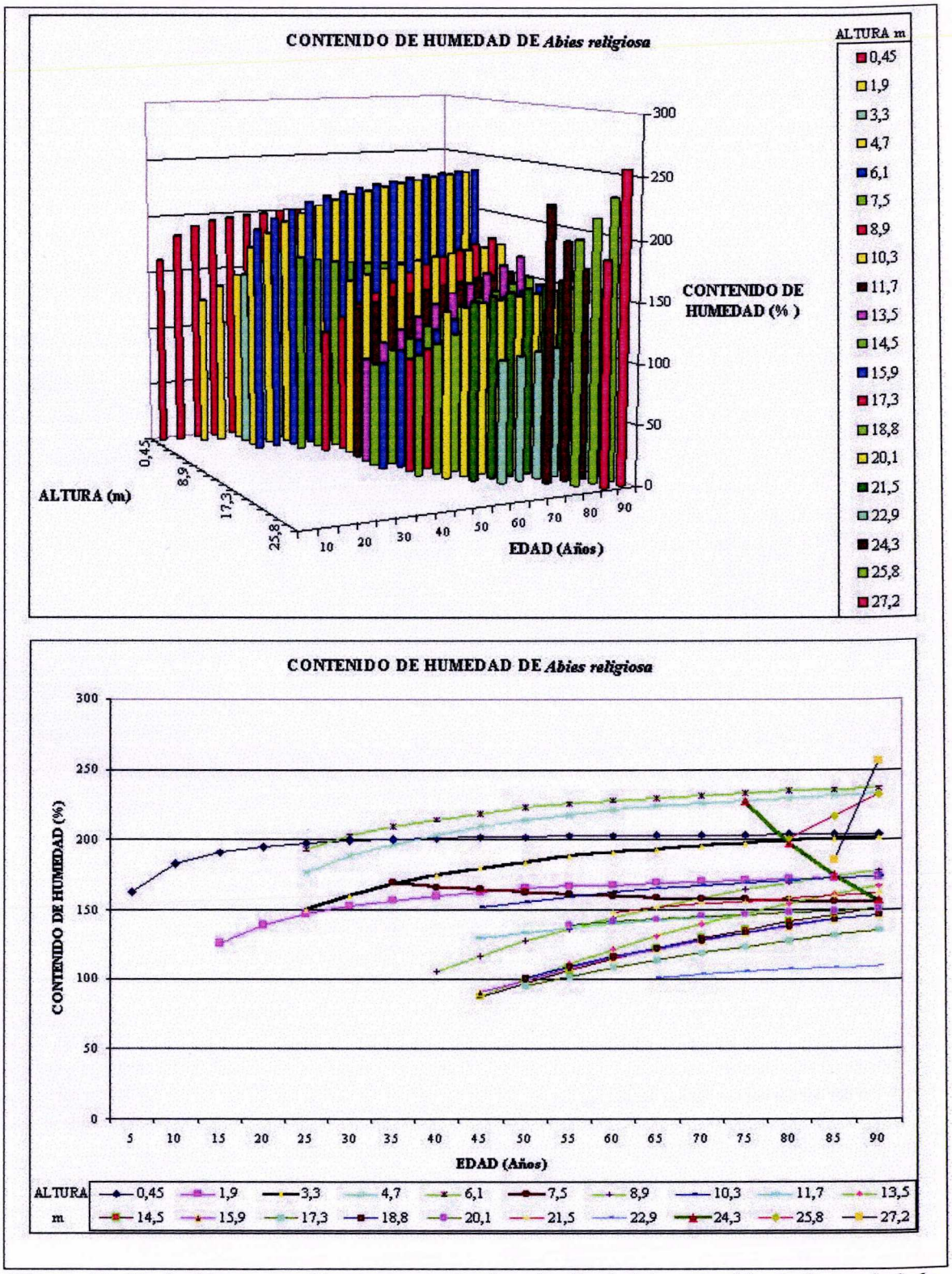


Figura 15. Variación en sentido transversal y longitudinal del contenido de humedad de *Abies religiosa* basándose en los valores estimados estadísticamente.

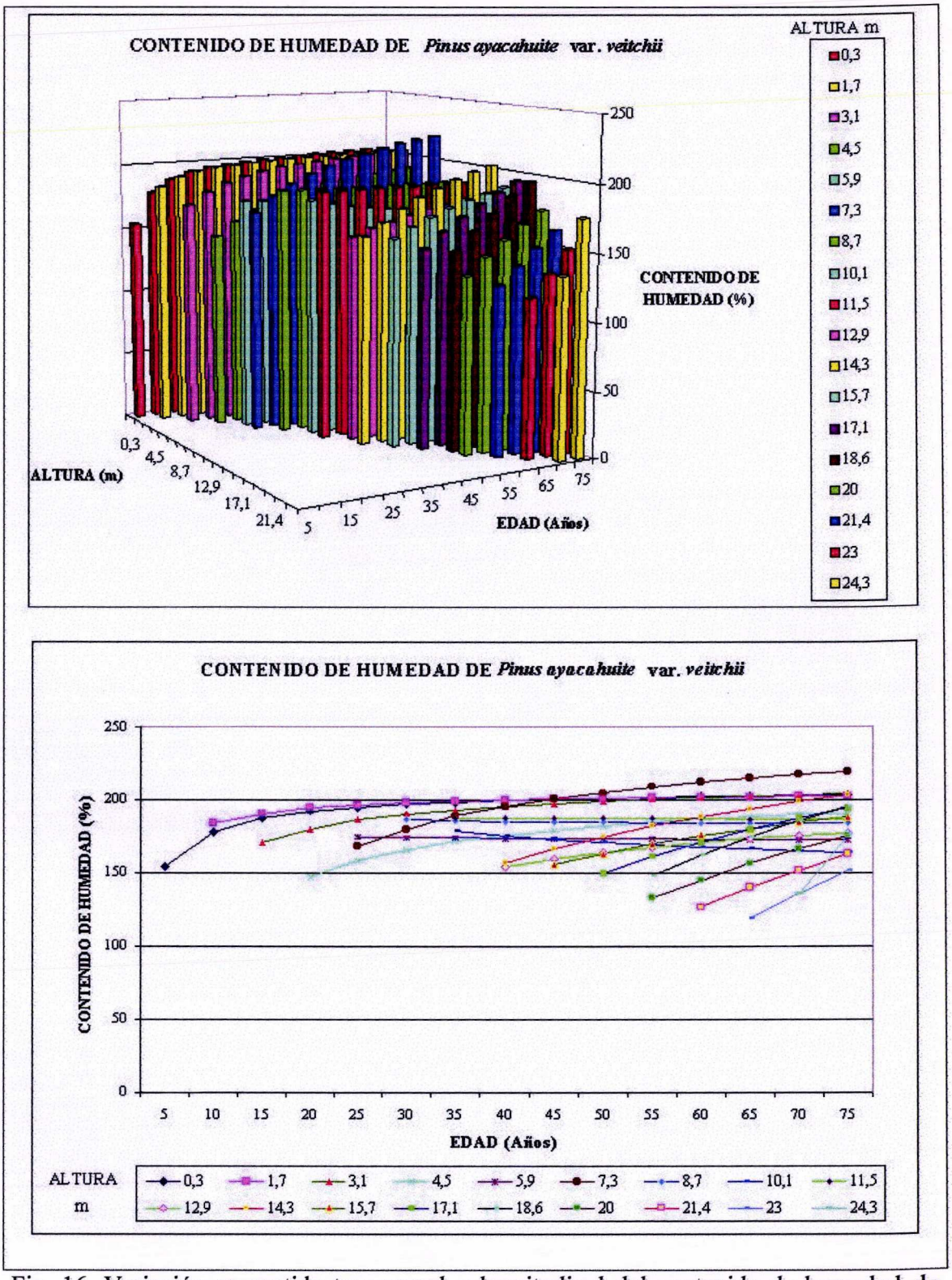


Fig. 16. Variación en sentido transversal y longitudinal del contenido de humedad de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* basándose en los valores estimados estadísticamente.

Cuadro 3. Tabla con los valores obtenidos al relacionar edad con contenido de humedad.

Abies religiosa					
ALTURA (m)	INTERCEP.	EDAD	PROBABILIDAD	R^2	n
0.45	176.8276	0.4348	0.0232	0.1425	36
1.9	134.7419	0.4915	0.0398	0.1334	32
3.3	134.8753	0.8281	0.0003	0.3767	30
4.75	183.3248	0.5304	0.2065	0.0607	28
6.17	194.9647	0.4770	0.4189	0.0253	28
7.55	180.3057	-0.3230	0.4365	0.0278	24
8.95	54.8504	1.4270	0.0113	0.2802	22
10.35	131.6722	0.4843	0.496	0.0381	20
11.75	109.5609	0.4749	0.5648	0.0181	20
13.5	18.4927	1.6712	0.0609	0.1817	20
14.55	34.9745	1.3019	0.0957	0.1466	20
15.95	50.7289	1.0574	0.2248	0.0807	20
17.37	64.5674	0.7516	0.4891	0.0304	18
18.8	64.1505	0.8866	0.4401	0.0377	18
20.18	151.0437	-0.0808	0.9440	0.0004	16
21.56	156.7940	-0.0188	0.9905	0.0000	14
22.98	269.2508	-1.2337	0.6541	0.0209	12
24.36	536.3331	-4.2103	0.3183	0.1648	8
25.86	-45.8789	3.0866	0.4848	0.1288	6
27.27	-1246.33	16.778	------	------	4
Pinus ayacahuite var. *veitchii*					
ALTURA (m)	INTERCEP.	EDAD	PROBABILIDAD	R^2	n
0.3	179.7789	0.3677	0.0057	0.2422	30
1.72	198.6801	-0.0109	0.9744	0.0000	28
3.11	164.6926	0.6597	0.0010	0.3712	26
4.52	133.4324	0.9104	0.0049	0.3075	24
5.93	183.6217	-0.2046	0.4969	0.0234	22
7.34	149.4807	1.0334	0.0001	0.5446	22
8.76	190.9815	-0.1167	0.6900	0.0090	20
10.17	187.6957	-0.3203	0.3622	0.0521	18
11.55	189.6619	-0.0434	0.8676	0.0018	18
12.92	133.5640	0.5975	0.1177	0.1657	16
14.33	108.2336	1.3051	0.0006	0.5778	16
15.77	109.9930	1.0691	0.0005	0.6529	14
17.19	63.9747	1.7703	0.0022	0.6259	12
18.62	19.9747	2.3598	0.0012	0.7510	10
20.05	16.0734	2.1453	0.0163	0.5347	10
21.46	-19.2530	2.4396	0.0397	0.5331	8
23.01	-104.4747	3.4283	0.1858	.3890	6
24.39	-427.1264	8.0449	0.0148	.9706	4

R^2 = Coeficiente de correlación n = Número de observaciones

Cuadro 4. Análisis de varianza de contenido de humedad relacionado con edad y altura.

ANÁLISIS DE VARIANZA de *Abies religiosa*

FUENTE	GRADOS LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALORES DE F	PROBABILIDAD > F
MODELO	2	126218.7327	63109.36635	21.418	0.0001
ERROR	393	1157991.5229	2946.543315		
TOTAL	395	1284210.2556			

$R^2 = 0.0983$

ESTIMACIÓN DE PARAMETROS

VARIABLE	GRADOS LIBERTAD	PARÁMETRO ESTIMADO	PROBABILIDAD > |T|
INTERCEPTADA	1	155.207796	0.0001
EDAD	1	0.597127	0.0001
ALTURA	1	-2.670149	0.0001

ANÁLISIS DE VARIANZA DE *Pinus ayacahuite* var, *veitchii*

FUENTE	GRADOS LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALORES DE F	PROBABILIDAD > F
MODELO	2	53265.64137	26632.82069	51.669	0.0001
ERROR	301	155150.08728	515.44879		
TOTAL	303	208415.72865			

$R^2 = 0.2556$

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

VARIABLE	GRADOS LIBERTAD	PARÁMETRO ESTIMADO	PROBABILIDAD > |T|
INTERCEPTADA	1	179.988688	0.0001
EDAD	1	0.419998	0.0001
ALTURA	1	-2.285878	0.0001

4.3. Densidad básica.

La densidad básica es una de las propiedades más importantes y más estudiada en especies maderables de importancia económica, los resultados encontrados con los valores reales para las dos especies ensayadas se presentan en los perfiles de variación, (Fig. 17 y 18), mientras que los resultados estimados en forma estadística se muestran en las gráficas, (Fig. 19 y 20).

Las dos especies presentaron comportamientos diferentes con respecto al patrón de variación en las dos direcciones transversal y vertical. En *Abies religiosa*, la tendencia encontrada en dirección transversal es la que Panshin y De Zeeuw (1980), le nombran Tipo I, donde la densidad básica aumenta a partir de la médula y en dirección de la corteza, presentándose en las dos orientaciones estudiadas (Norte-Sur), y en todas las alturas, lo que coincide con lo reportado por Koehler (1924); Wangaard (1950); Kollmann (1959); Hillis (1962); Nicholls (1967); Copes y Oliver (1970); Barefoot y Hankins (1982); García (1984); Hernández H. (1985); Hernández P. (1985); Schniewind y Gammon (1986); Plancarte (1987); Zobel y Van Buijtenen (1989); Jozsa y Brix (1989); Walker *et al.* (1993); Calixto (1996) y Bues (1996). En las alturas inferiores el incremento es muy ligero casi nulo, mientras que a partir de la altura 8.9 m el aumento es más acelerado, lo que puede estar relacionado con la presencia de madera juvenil la que se encuentra en los anillos cercanos a la médula en un rango entre 20 y 25 anillos aproximadamente (Zobel y Talbert, 1994), esta madera se presenta debido a la existencia de carbohidratos y suplementos de hormonas en la región de crecimiento (Jozsa y Brix, 1989) la cual presenta una menor proporción de madera tardía la cual presenta pared

celular delgada repercutiendo en una densidad básica baja (Benson, 1963; Hernández H., 1985; Hernández P., 1985; Walker *et al.* 1993; Blouin *et al.* 1994 y Calixto, 1996).

El *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* por el contrario, presenta la tendencia Tipo II reportada por Panshin y De Zeeuw (1980), donde la densidad más alta se presenta cerca de la médula y disminuye al aproximarse a la corteza, presentando el mismo comportamiento en las dos orientaciones (Norte-Sur), y en la mayoría de las alturas (Dood y Power, 1986; Paraskevopoulou, 1991; Vaca, 1992; McAlister y Powers Jr., 1992; Brolin, Noren y Stahl, 1995, Yin *et al.* 1996; y Mitchell y Denne, 1997). De la altura 3.1 a la 7.3 m se encontró un ligero incremento a partir de la médula y en dirección de la corteza, esta tendencia puede estar relacionada con los cambios ambientales ocurridos durante su crecimiento, lo que repercute en el ancho de anillos, ya que se encontraron anillos más anchos cerca de la médula, siendo diferentes al resto de las alturas en donde los anillos de crecimiento cercanos a la médula fueron más angostos. Otro factor que puede influir en el comportamiento principal encontrado en el pino es la presencia de resina en su madera, lo que puede ser diferente con el oyamel ya que este no presenta canales resiníferos.

La variación encontrada en dirección vertical también presenta diferencias en ambas especies. El *Abies religiosa* muestra la tendencia de aumentar a partir de la base hacía la parte donde comienza la copa para después volver a disminuir en la parte superior del fuste, siendo diferente a lo reportado por Koehler, (1924); Wangaard, (1950); Kollmann, (1959); Resch y Arganbright (1968); Lenhart, Cutter y Ho-Shinn (1977); Panshin y De Zeuuw (1980); Desch y Diwoodie (1981); Barefoot y Hankins (1982); Markstrom,

Troxell y Boldt (1983); Jozsa y Brix (1989); Cruz (1992) y Walker *et al.* (1993), quienes encuentran la tendencia de disminuir conforme aumenta la altura en el árbol. Lo encontrado aquí, puede estar relacionado con la presencia de madera juvenil dentro del árbol, ya que en la parte baja se presenta una menor proporción en relación con la madera madura, en cambio, en la parte de la copa se encuentra una mayor proporción de madera juvenil, la cual presenta características muy diferentes con el resto de la madera (Zobel y Talbert, 1994) ocasionando una disminución en la densidad básica de la madera.

Por otro lado, el *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* no presentó un patrón definido en el comportamiento de la densidad presentando aumentos y disminuciones a lo largo del fuste, resultado similar al encontrado por Kramer (1966). La parte de la copa presentó valores altos de densidad lo que coincide con lo reportado por Okkonen, Wahlgren y Maeglin (1972); Paraskevopoulou (1991) y Brolin Norén y Stahl (1995), pudiendo atribuirse a la mayor presencia de nudos en la copa (Panshin y De Zeeuw, 1980), además de que pueda existir una gran cantidad de madera de compresión originando un aumento en los valores de la densidad básica.

Al realizar el análisis estadístico se encuentra que la edad y el ancho de anillos son las variables que más se relacionan con la densidad básica en las diferentes alturas (Cuadro 5), comprobándose la gran diferencia que existe en el comportamiento encontrado en ambas especies. En *Abies religiosa*, se observan valores de r^2 aceptables, lo que indica que la edad y el ancho de anillos si explica en gran parte la tendencia presentada por la densidad, mostrando que a medida que aumenta la edad sucede lo mismo con la densidad para todas las alturas con excepción de 11.75 y 13.5 m

coincidiendo con Lenhart, Cutter y Ho-Shinn (1997), debido a que al aumentar la edad las traqueidas tienden a crecer y engrosar más sus paredes y el ritmo de crecimiento se reduce (Plancarte, 1987), lo que se puede apreciar en la parte baja del fuste, (Fig. 17 y 18). Con respecto al ancho de anillos se observó que al disminuir éstos aumenta la proporción de madera tardía y la densidad básica, lo que coincide con lo reportado por Lindström, (1996b); Mitchel y Denne (1997); Dutilleul, Herman y Avella (1998). En general, cuando se presentan anillos angostos la proporción de madera tardía es mayor o similar a la proporción de madera temprana, lo que puede originar una mayor densidad por presentar una mayor proporción de pared celular.

En *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*, se encontraron valores muy bajos de r^2 en la parte baja aumentando con la altura. Por otro lado, los valores positivos y negativos de los parámetros estadísticos con respecto a la edad y ancho de anillos, muestran el comportamiento indefinido que presenta esta especie para la densidad básica, ya que se pueden observar claramente los altibajos que se presentan a lo largo del fuste coincidiendo con lo encontrado por Matziris (1979) en *Pinus radiata*.

En los análisis de varianza (Cuadro 6), se puede observar claramente que en *Abies religiosa* al aumentar la altura en el árbol disminuye la densidad básica y al aumentar la edad origina un aumento en los valores de densidad siendo altamente significativo ($P > 0.0001$), sin embargo, se encontró un valor muy bajo del coeficiente de correlación, indicando que la edad y altura no explican de manera confiable el comportamiento de la densidad a lo largo del fuste. En *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* se observa lo contrario, al incrementar la altura la densidad aumenta y al incrementar la edad ésta disminuye, presentando un coeficiente de correlación muy pobre.

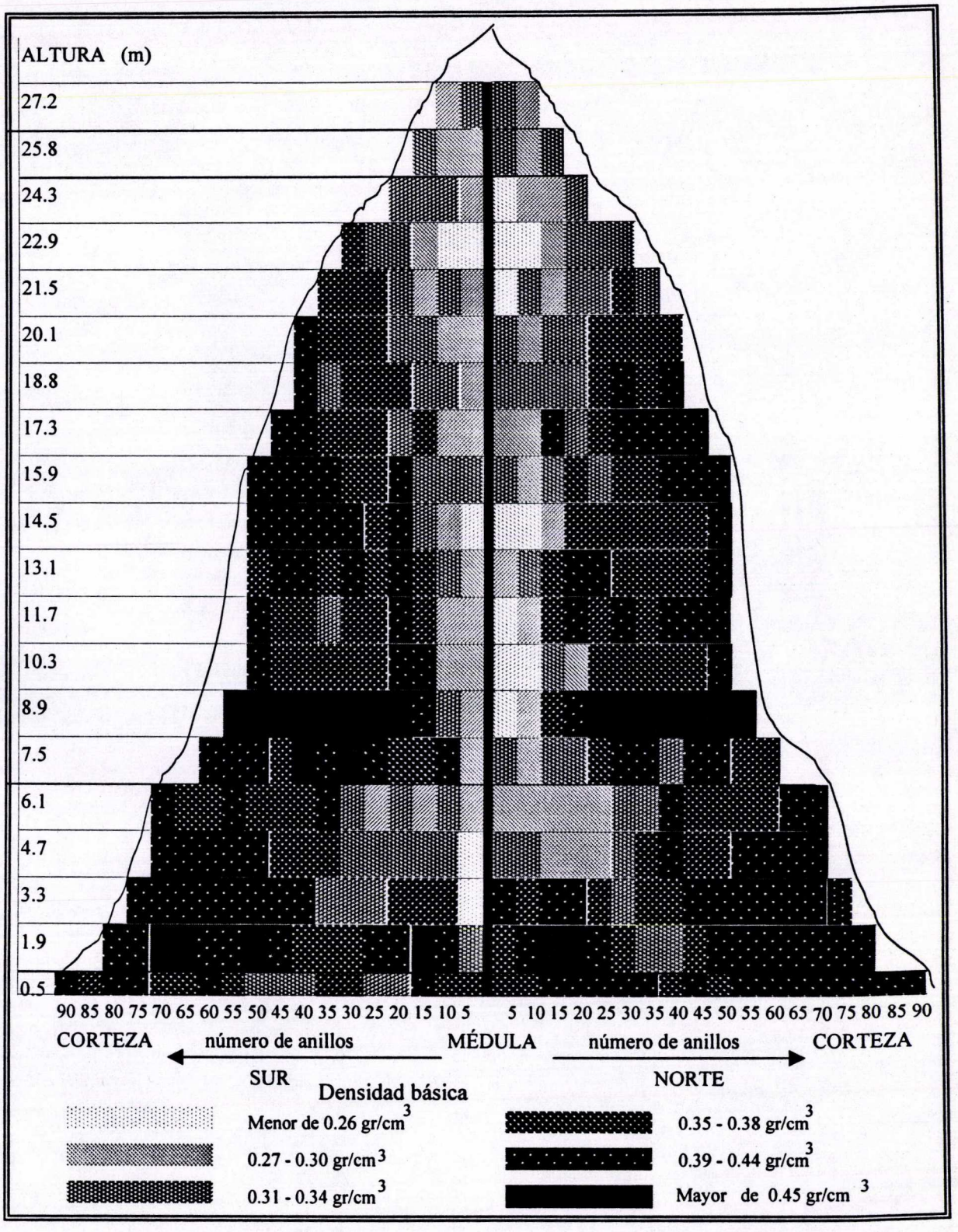


Figura 17. Perfil de variación de la densidad básica en sentido transversal y vertical de *Abies religiosa* con los valores reales agrupados en seis rangos.

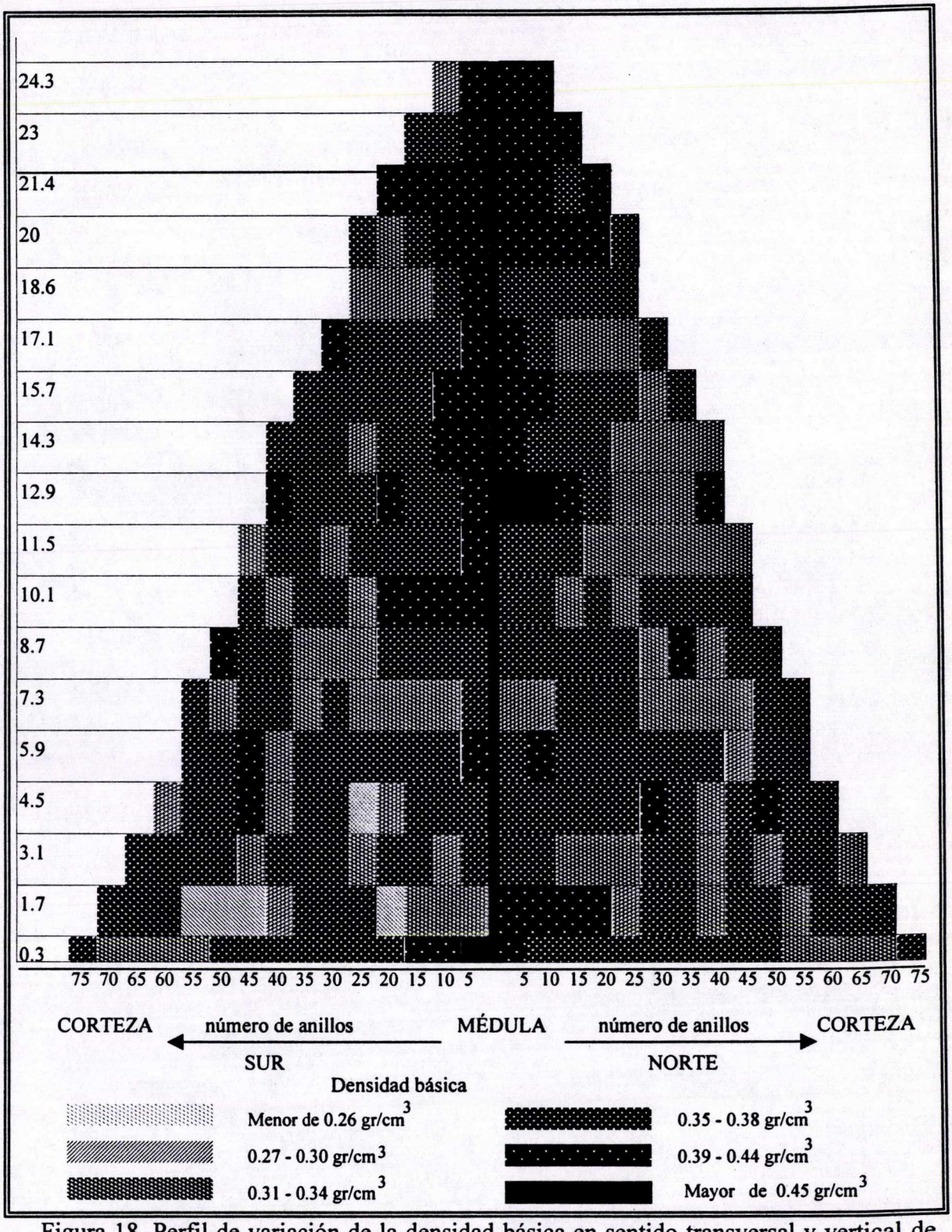


Figura 18. Perfil de variación de la densidad básica en sentido transversal y vertical de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores reales agrupados en seis rangos.

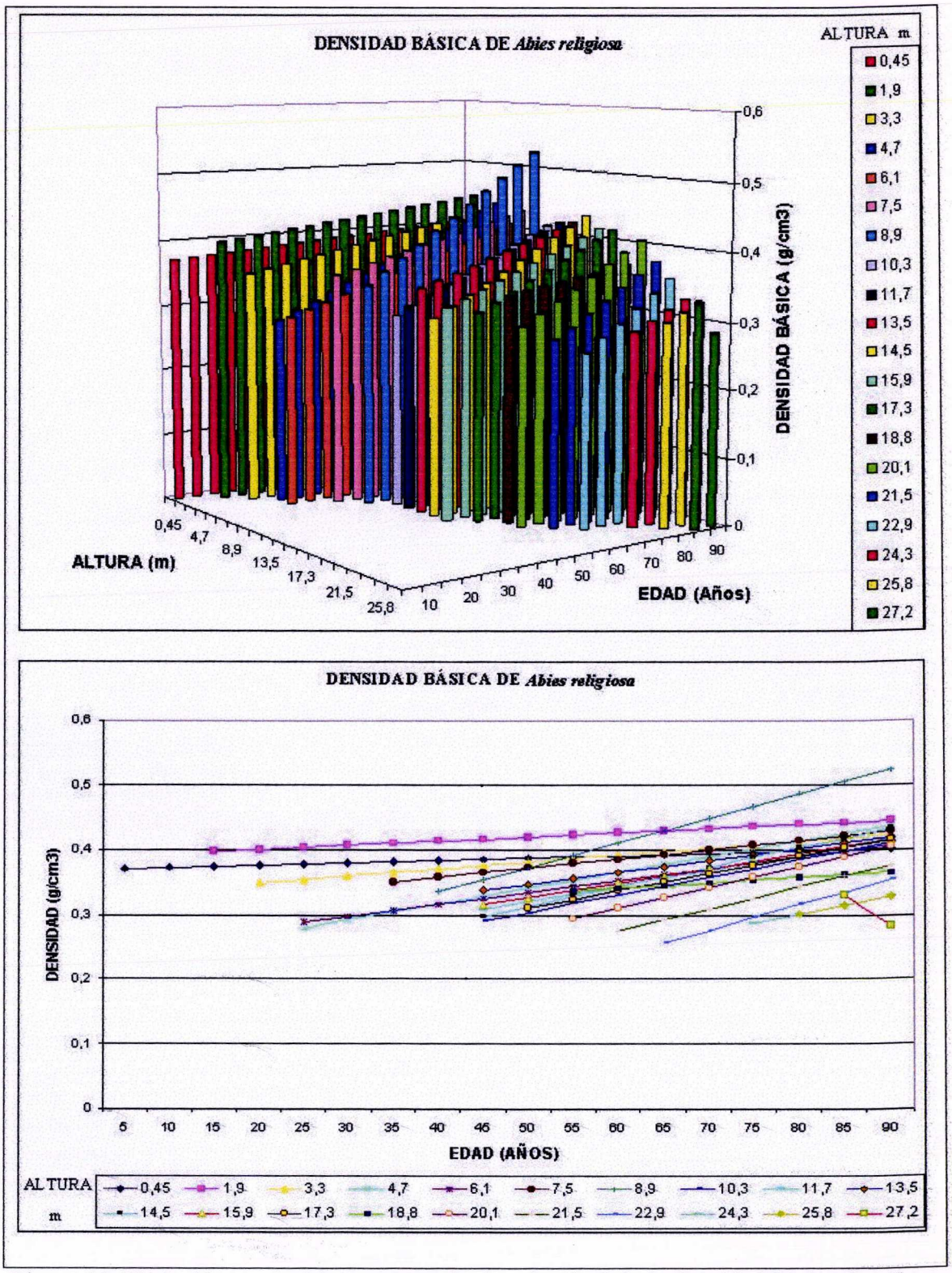


Figura 19. Variación en sentido transversal y longitudinal de la densidad básica de *Abies religiosa* con base en los valores estimados estadísticamente.

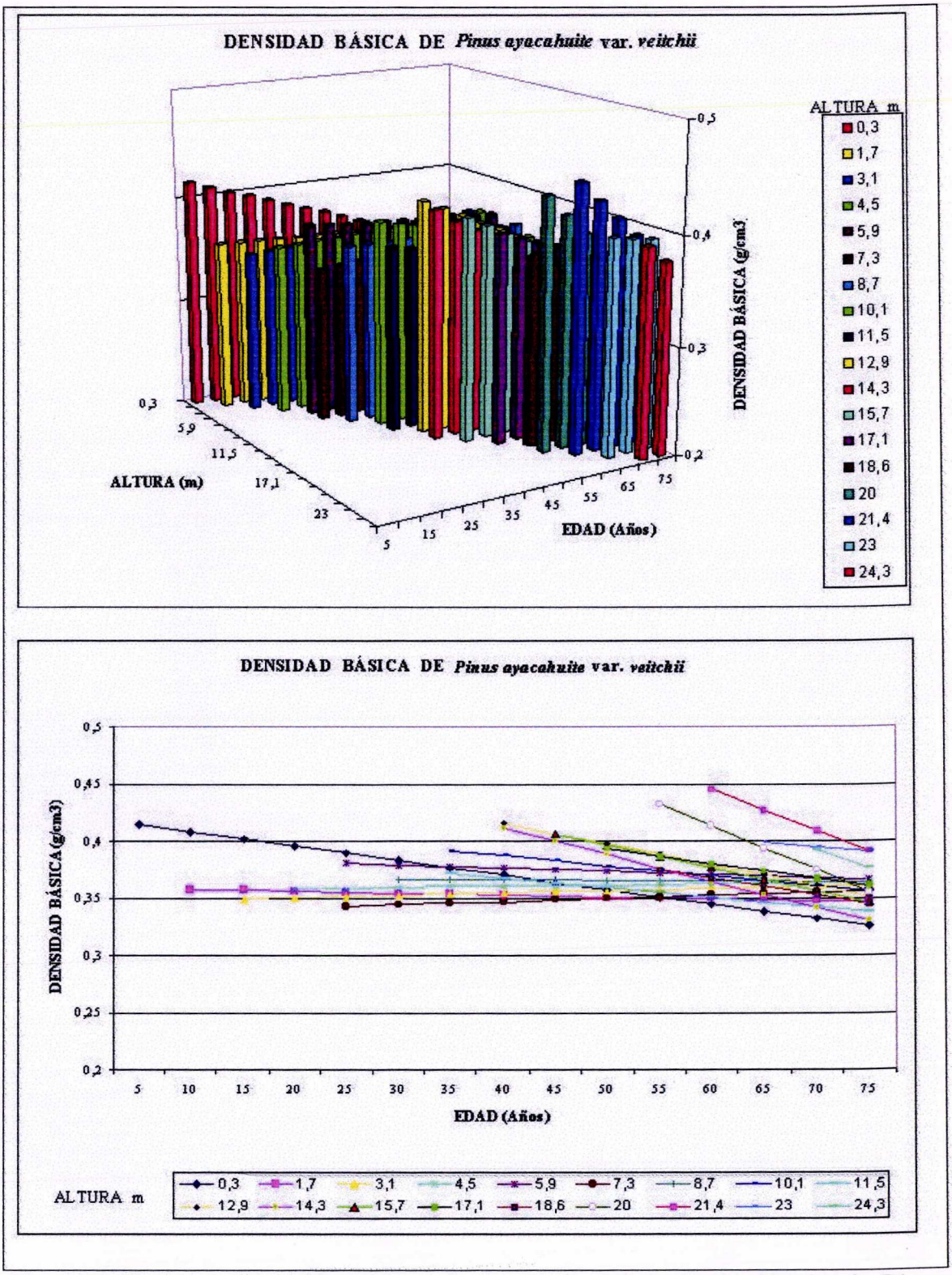


Figura 20. Variación en sentido transversal y longitudinal de la densidad básica de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con base en los valores estimados estadísticamente.

Cuadro 5. Tabla con los valores obtenidos al relacionar edad y ancho de anillos con densidad básica.

Abies religiosa							
ALTURA (m)	INTERCEP[1].	EDAD	PROB.[1]	ANCHAN[1].	PROB[1].	R^2	n
0.45	0.3814	0.00044	0.01	-0.0107	0.01	0.25	36
1.9	0.4391	0.00060	0.09	-0.0385	0.001	0.34	32
3.3	0.3651	0.00088	0.02	-0.0188	0.08	0.31	30
4.75	0.2255	0.00238	0.0001	-0.0029	0.78	0.65	28
6.17	0.2608	0.00170	0.0001	-0.0080	0.0001	0.80	28
7.55	0.3108	0.00133	0.13	-0.0030	0.84	0.22	24
8.95	0.4435	0.00106	0.24	-0.0475	0.001	0.80	22
10.35	0.3478	0.00073	0.41	-0.0256	0.02	0.71	20
11.75	0.4776	-0.00061	0.53	-0.0420	0.002	0.69	20
13.5	0.4646	-0.00034	0.72	-0.0369	0.01	0.53	20
14.55	0.3369	0.00134	0.13	-0.0386	0.03	0.70	20
15.95	0.2858	0.00158	0.0009	-0.0184	0.01	0.76	20
17.37	0.3287	0.00134	0.06	-0.0372	0.01	0.72	18
18.8	0.2826	0.00089	0.15	0.0022	0.8	0.13	18
20.18	0.1447	0.00309	0.0001	-0.0123	0.06	0.91	16
21.56	0.0277	0.00358	0.0001	0.0178	0.02	0.80	14
22.98	0.0287	0.00378	0.0001	-0.0107	0.19	0.92	12
24.36	0.2249	0.00142	0.61	-0.1203	0.58	0.40	8
25.86	0.1691	0.00337	0.0058	-0.0774	0.01	0.95	6
27.27	1.1366	-0.00948	0.0056	--------	------	-------	4

Pinus ayacahuite var. v*eitchii*							
ALTURA (m)	INTERCEP[1].	EDAD	PROB[1].	ANCHAN[1].	PROB.	R^2	n
0.3	0.4244	-0.0012	0.0001	-0.0026	0.74	0.55	30
1.72	0.3566	-0.0001	0.64	0.0017	0.87	0.01	28
3.11	0.3568	0.0001	0.60	-0.0049	0.42	0.07	26
4.52	0.3636	0.00004	0.91	-0.0034	0.78	0.009	24
5.93	0.4126	-0.0005	0.31	-0.0083	0.56	0.06	22
7.34	0.3324	0.0003	0.26	0.0015	0.83	0.08	22
8.76	0.3418	0.0002	0.64	0.0079	0.45	0.03	20
10.17	0.3218	0.0002	0.82	0.0268	0.30	0.20	18
11.55	0.4076	-0.0008	0.05	-0.0021	0.84	0.41	18
12.92	0.4724	-0.0016	0.10	0.0049	0.80	0.31	16
14.33	0.5201	-0.0024	0.0005	-0.0064	0.62	0.64	16
15.77	0.5614	-0.0026	0.004	-0.0185	0.20	0.56	14
17.19	0.2470	0.0009	0.65	0.0474	0.24	0.31	12
18.62	0.1975	0.0010	0.15	0.0670	0.001	0.85	10
20.05	0.6462	-0.0043	0.002	0.0230	0.31	0.78	10
21.46	0.6355	-0.0038	0.018	0.0293	0.35	0.70	8
23.01	0.2189	-0.0033	0.28	0.2646	0.14	0.56	6
24.39	0.8286	-0.0121	0.09	0.22940	0.11	0.98	4

INTERCEP.= interceptada PROB. = probabilidad ANCHAN. = ancho de anillos
R^2 = Coeficiente de correlación n = Número de observaciones

Cuadro 6. Análisis de varianza de densidad básica relacionada con edad y altura.

ANALISIS DE VARIANZA DE *Abies religiosa*

FUENTE	GRADOS LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALORES DE F	PROBABILIDAD > F
MODELO	2	0.48162	0.24081	121.243	0.0001
ERROR	393	0.78057	0.00199		
TOTAL	395	1.26220			

$R^2 = 0.3816$

ESTIMACIÓN DE PARAMETROS

VARIABLE	GRADOS LIBERTAD	PARÁMETRO ESTIMADO	PROBABILIDAD > |T|
INTERCEPTADA	1	0.321155	0.0001
EDAD	1	0.001553	0.0001
ALTURA	1	-0.004783	0.0001

ANÁLISIS DE VARIANZA DE *Pinus ayacahuite* var, *veitchii*

FUENTE	GRADOS LIBERTAD	SUMA DE CUADRADOS	CUADRADO MEDIO	VALORES DE F	PROBABILIDAD > F
MODELO	2	0.04675	0.02337	30.780	0.0001
ERROR	301	0.22856	0.00076		
TOTAL	303	0.27531			

$R^2 = 0.1698$

ESTIMACIÓN DE PARÁMETROS

VARIABLE	GRADOS LIBERTAD	PARÁMETRO ESTIMADO	PROBABILIDAD > |T|
INTERCEPTADA	1	0.378100	0.0001
EDAD	1	-0.000549	0.0001
ALTURA	1	0.002078	0.0001

4.4. Contracciones lineales y volumétricas.

4.4.1. Contracciones radiales

Los valores reales de las contracciones radiales encontrados en las dos especies, se presentan en los perfiles de variación (Fig. 21 y 22) mientras que los valores ajustados estadísticamente se muestran en las gráficas (Fig. 23 y 24).

Al observar los valores reales de las contracciones radiales en sentido transversal, se nota que los valores más altos se encuentran cerca de la corteza y disminuyen en dirección de la médula, lo cual se ratifica al ajustar los datos por medio de regresión lineal simple, donde se muestra claramente la tendencia antes mencionada, coincidiendo con lo encontrado por Dumail y Castera, (1997), en *Pinus pinaster*; que puede ser explicado por la densidad básica, ya que al aumentar el grosor de pared celular aumenta la densidad y al haber mayor cantidad de ésta, las contracciones tienden a aumentar.

Por otro lado, en dirección longitudinal del fuste, los resultados encontrados varían entre las dos especies. En el oyamel, las mayores contracciones se presentaron en la parte baja del árbol y fueron disminuyendo al aumentar la altura en el árbol, encontrando las contracciones más pequeñas en la parte superior del árbol. Mientras que en el pino, los valores más altos se encontraron en las alturas intermedias del árbol, y los valores más pequeños se presentaron en la base del árbol y en la parte superior. El comportamiento encontrado en este trabajo puede estar muy relacionado con la tendencia que presentó la densidad básica en ambas especies, en el oyamel, un patrón más definido, mientras que en el pino un patrón indefinido.

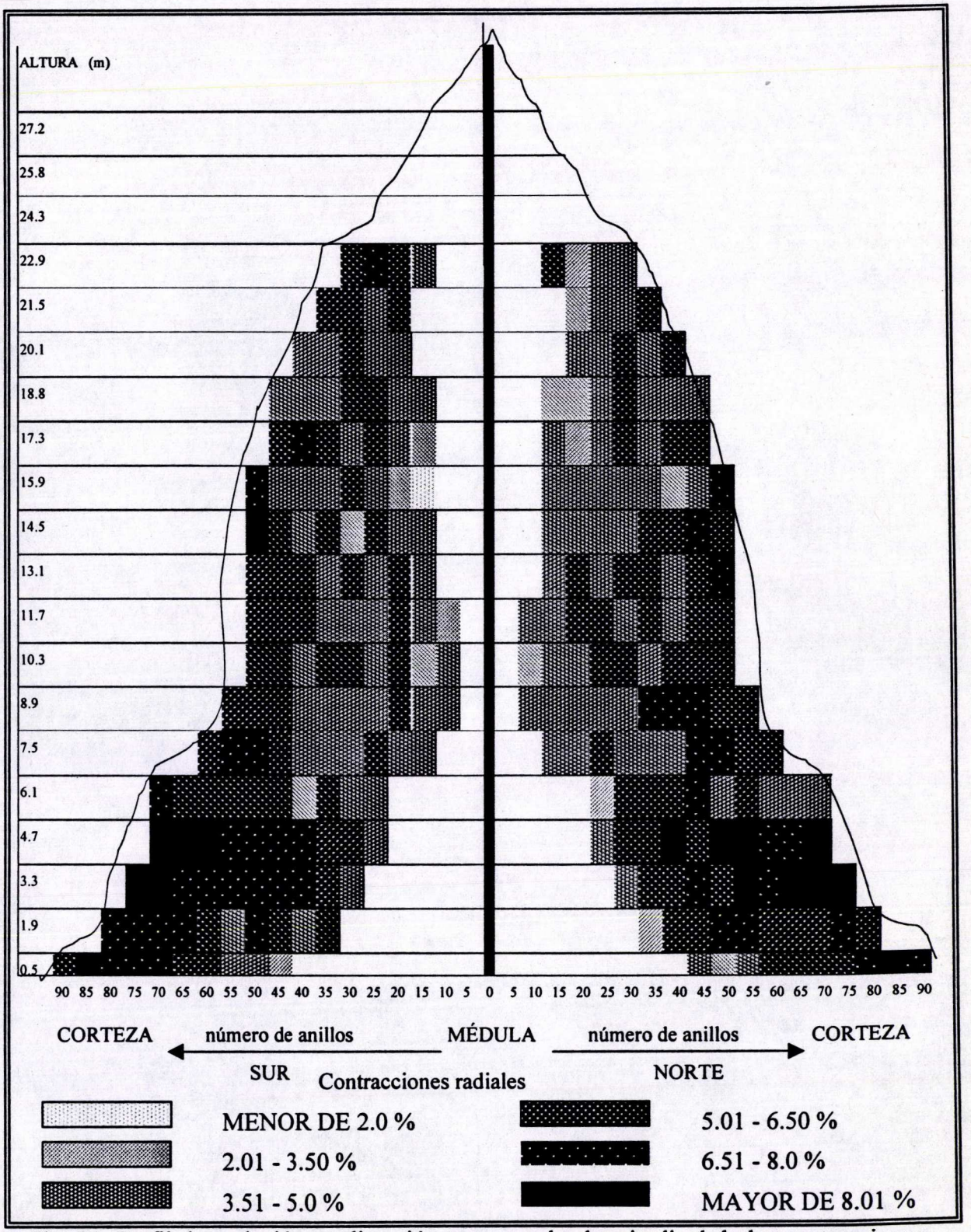


Fig. 21. Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Abies religiosa* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores.

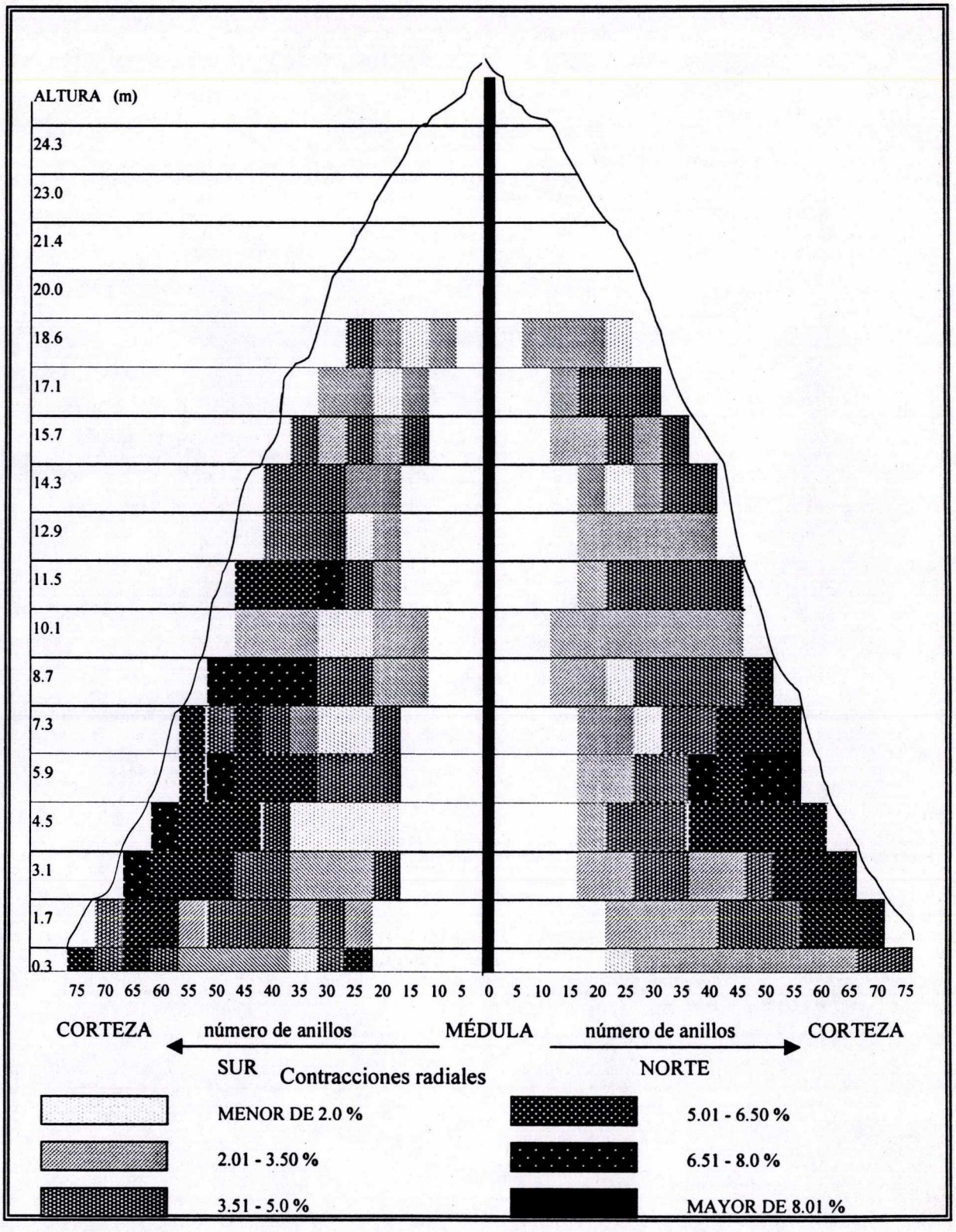


Fig. 22. Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores.

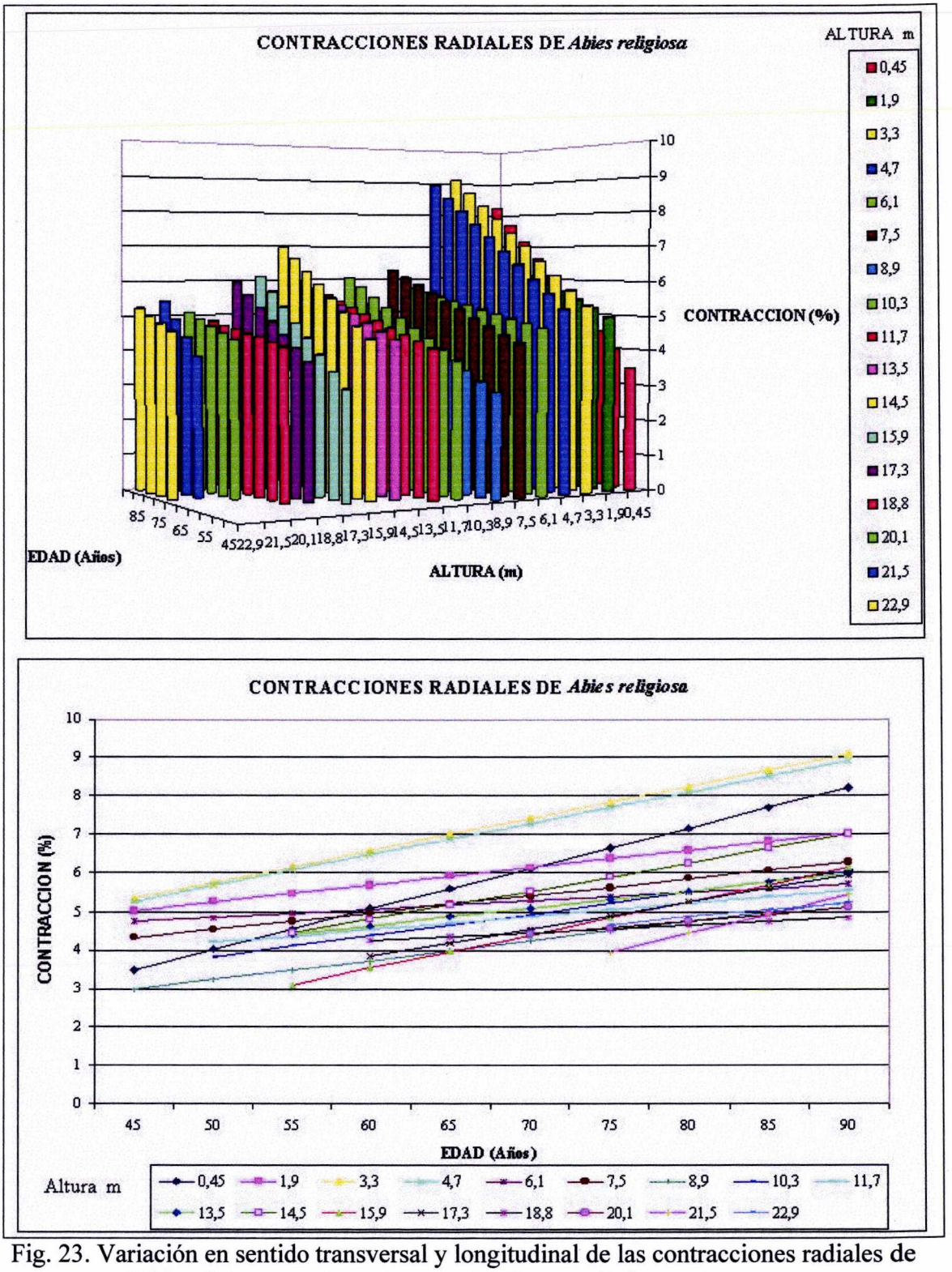


Fig. 23. Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Abies religiosa* con los valores estimados estadísticamente.

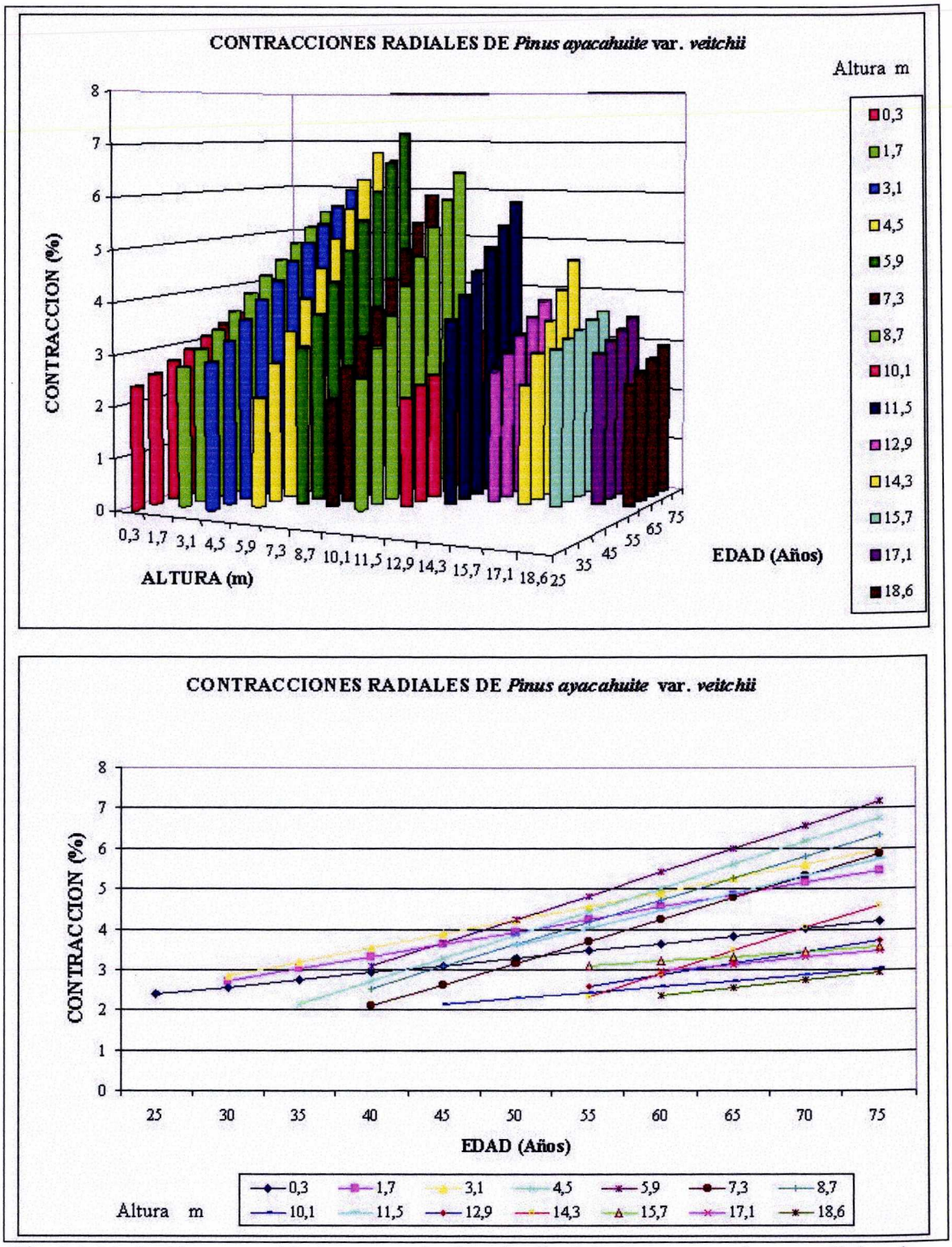


Fig. 24. Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones radiales de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores estimados estadísticamente.

4.4.2. Contracciones tangenciales

Las contracciones tangenciales encontradas en las dos especies *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los datos reales se presentan en los pefiles de variación (Fig. 25 y 26) mientras que los valores ajustados estadísticamente se encuentran representados en las gráficas (Fig. 27 y 28).

Al revisar ambos resultados se observa que en dirección transversal el pino presentó una tendencia más definida donde los valores más grandes se encuentran en la parte cercana a la corteza para todas las alturas coincidiendo con lo reportado por Dumail y Castera, (1997), para *Pinus pinaster*, mientras que en el oyamel, no presentó un patrón definido ya que en algunas alturas los valores más bajos se encontraron cerca de la corteza, difiriendo con lo mencionado anteriormente.

En sentido longitudinal por el contrario, el oyamel presentó un patrón definido en las contracciones tangenciales, ya que los valores disminuyeron al aumentar la altura en el árbol, encontrando las contracciones más altas cerca de la base que en la copa. Mientras que, las contracciones tangenciales encontradas en el pino, no presentaron un comportamiento definido ya que los resultados encontrados presentaron altibajos a lo largo del árbol.

Al analizar el comportamiento general de las contracciones lineales, se puede decir, que las contracciones más altas se encuentran cerca de la corteza y van disminuyendo al acercarse al centro del árbol, los factores que puede influir en la presencia de este

comportamiento puede ser la longitud de las células y el ángulo fibrilar de la pared celular, según lo reportado por Panshin y De Zeeuw (1980), y a la estructura y dimensión de las fibrilas, espacio entre ellas y el grosor de la pared celular (Meylan, 1968; Tang y Smith, 1975).

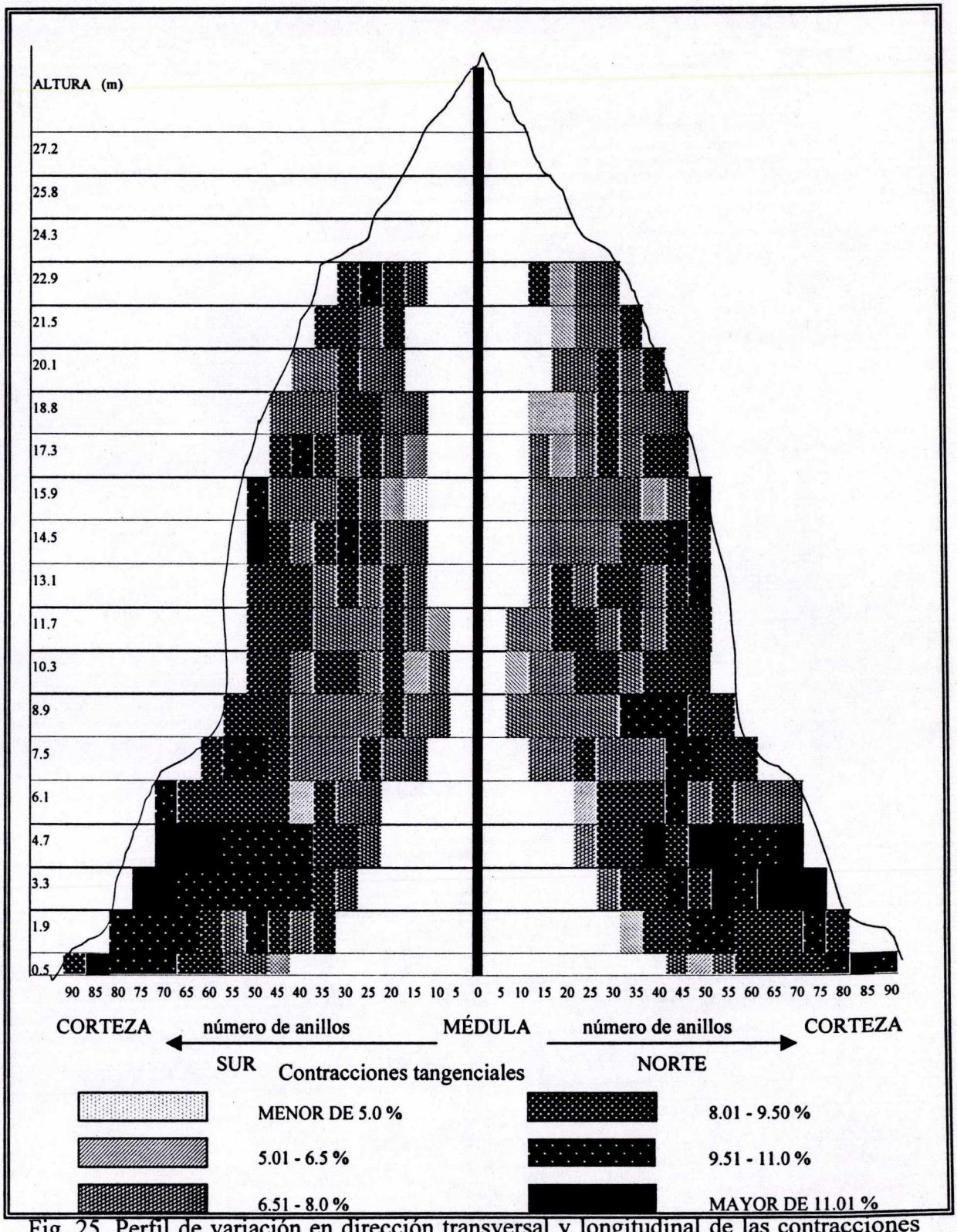


Fig. 25. Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Abies religiosa* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores.

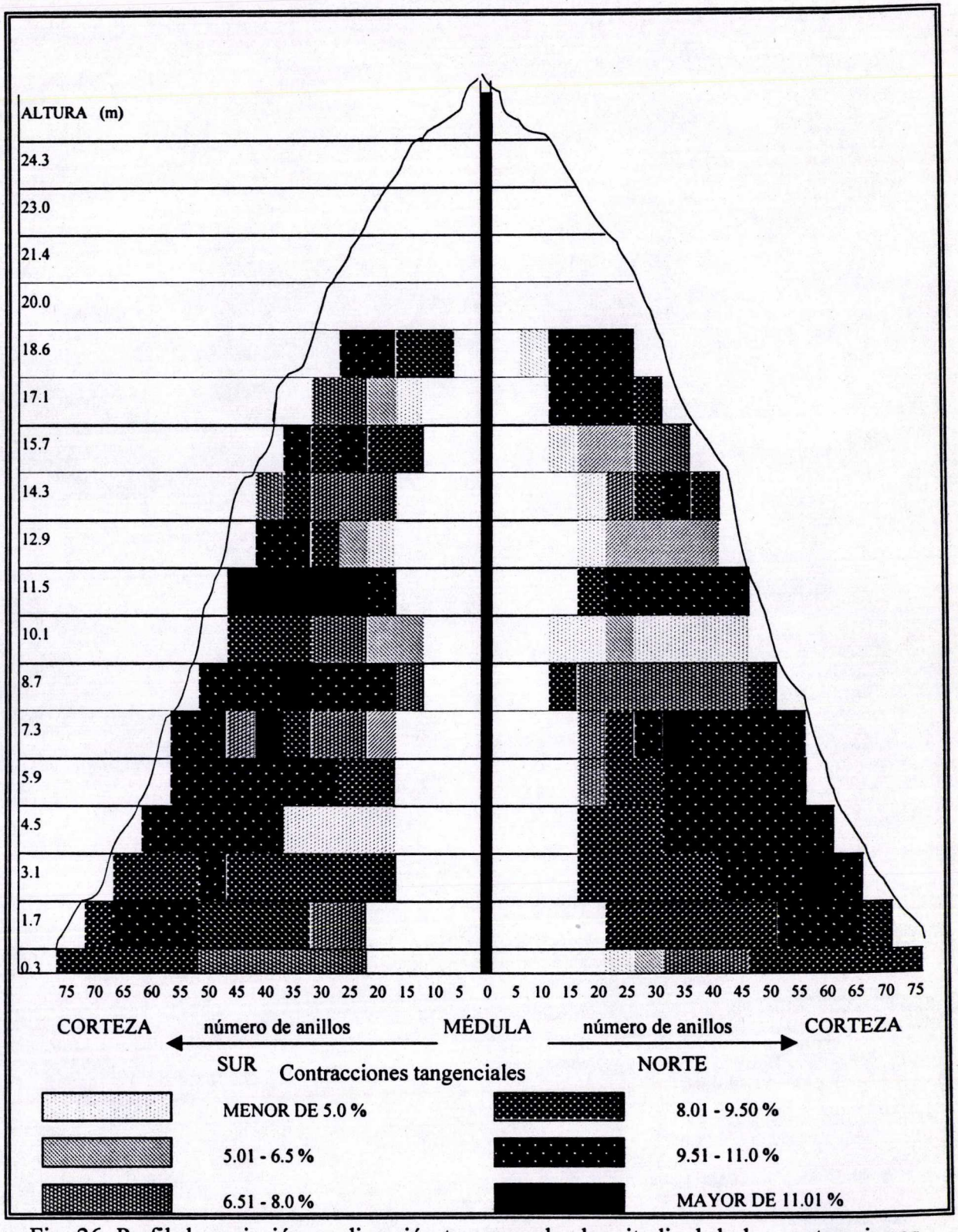


Fig. 26. Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores.

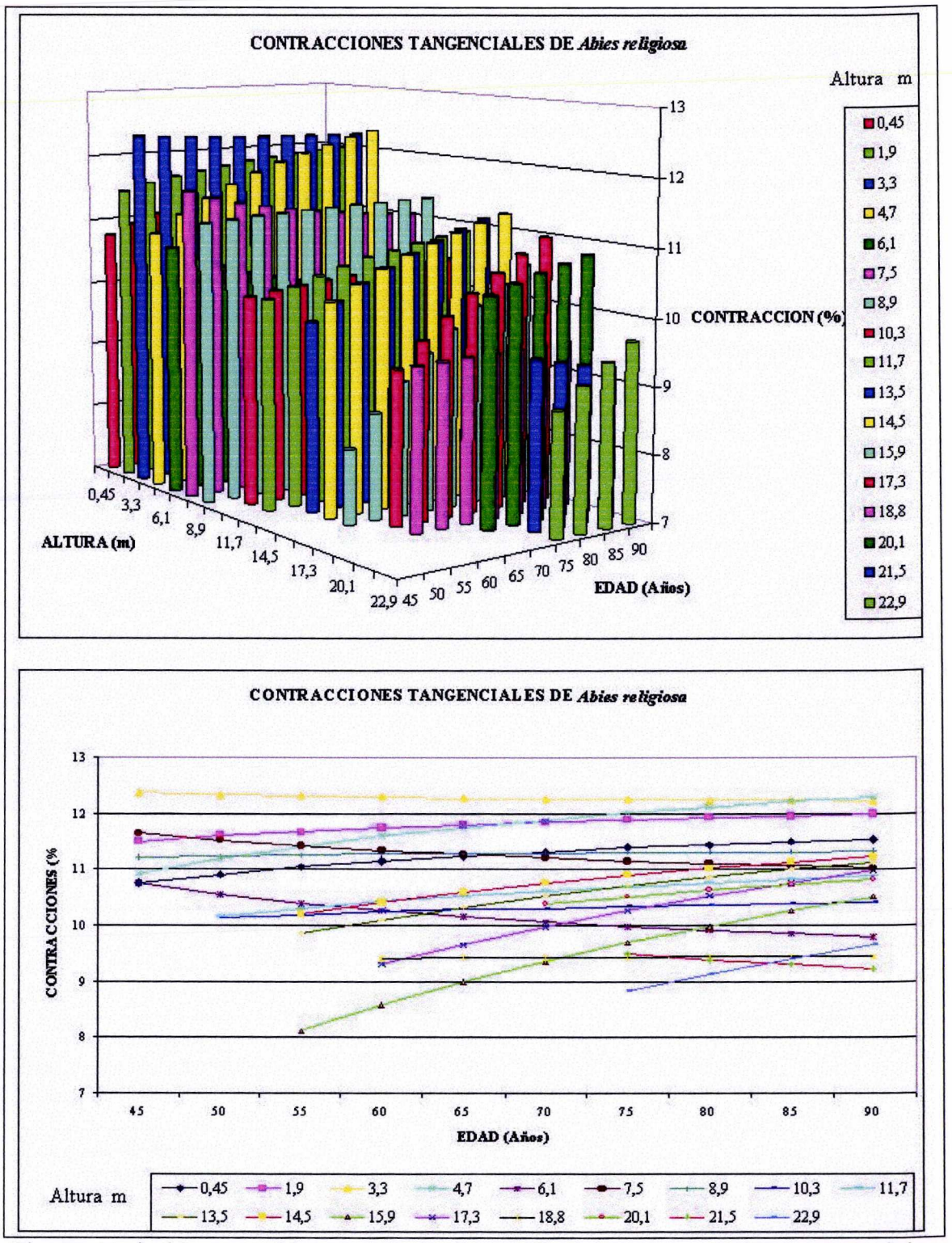


Fig. 27. Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Abies religiosa* con los valores estimados estadísticamente.

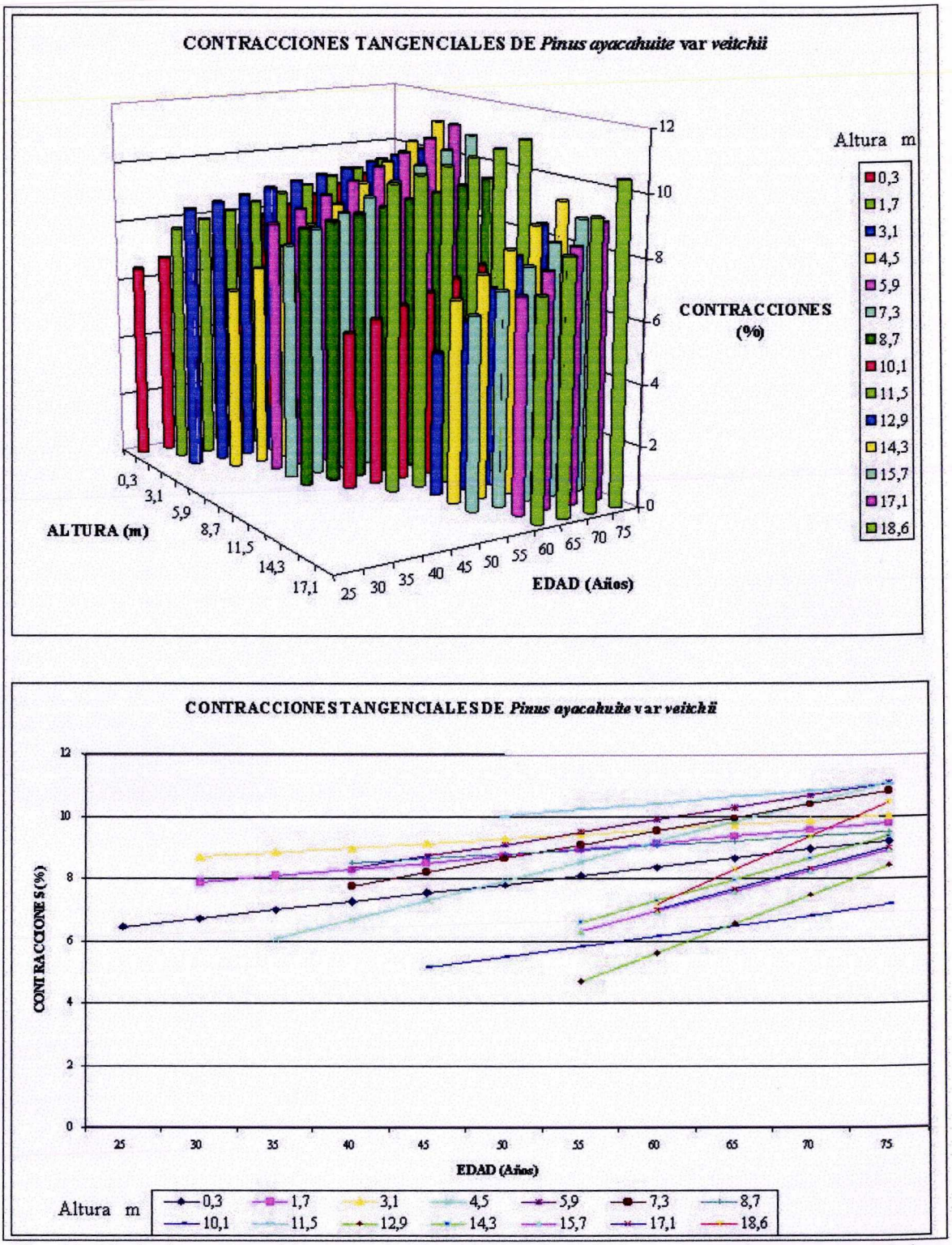


Fig. 28. Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones tangenciales de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores estimados estadísticamente.

4.4.3. Contracciones volumétricas

Las contracciones volumétricas encontradas en las dos especies con los valores reales se presentan en los perfiles de variación (Fig. 29 y 30) mientras que los valores ajustados estadísticamente se muestran en gráficas (Fig. 31 y 32).

Los resultados encontrados en sentido transversal muestran una tendencia general de disminuir a partir de la corteza y en dirección a la médula, en las dos especies y en todas las alturas, lo que difiere con lo encontrado por Choong, Fogg y Polleck (1989), en *Taxodium distichum* L. atribuyendo este comportamiento a la densidad básica como lo menciona Panshin y De Zeeuw (1980).

Con respecto, al comportamiento en dirección longitudinal, se encontró que el pino presenta el comportamiento encontrado por Choong, Fogg y Pollck, (1989) para *Taxodium distichum*, de presentar contracciones pequeñas en la parte baja del árbol, un valor máximo en un tercio de la altura del fuste, continuando con una disminución de los valores en la parte alta del árbol. Por otro lado, el oyamel presentó los valores más altos cerca de la ase del árbol, disminuyendo ligeramente al aumentar la altura en el árbol.

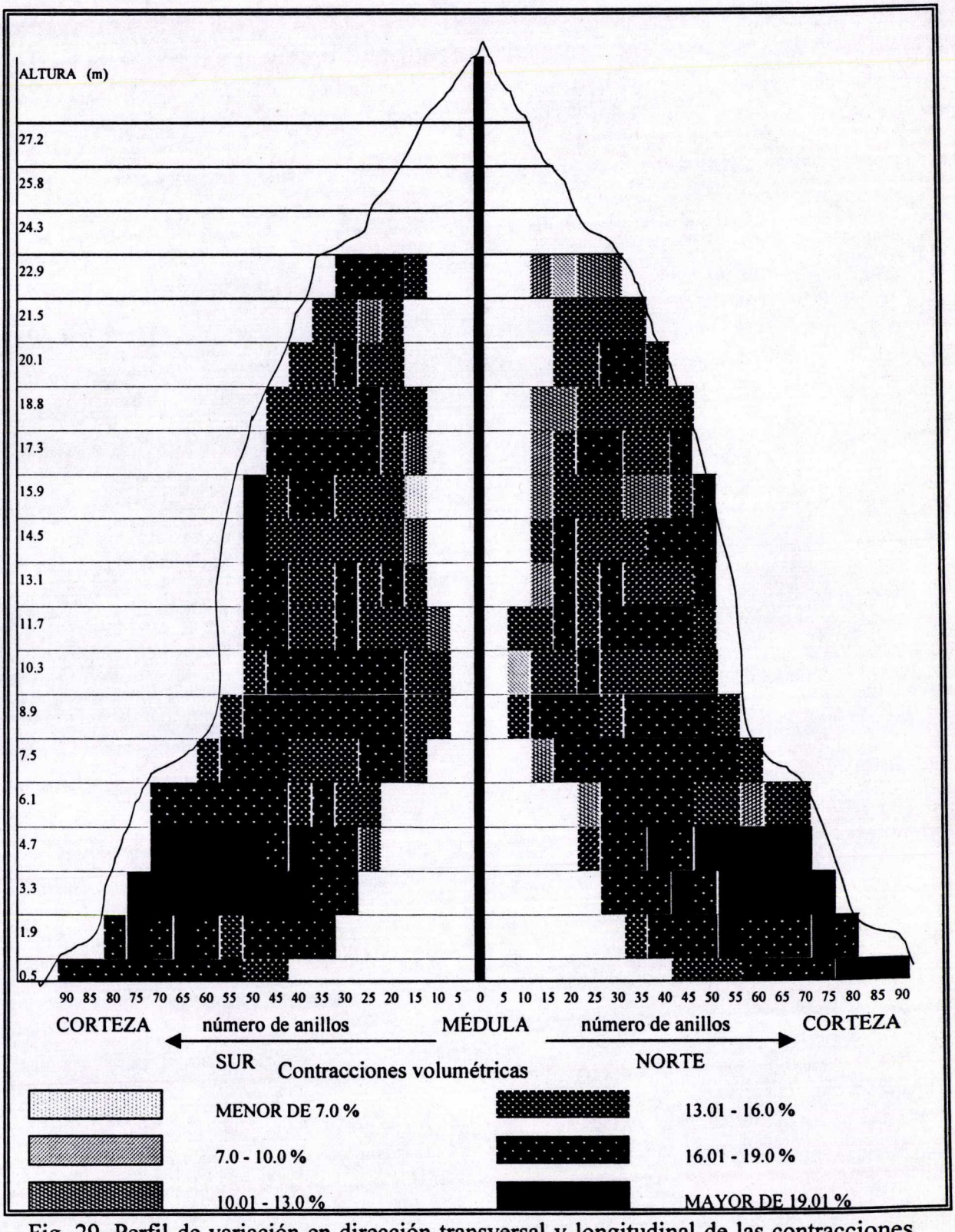


Fig. 29. Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas de *Abies religiosa* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores

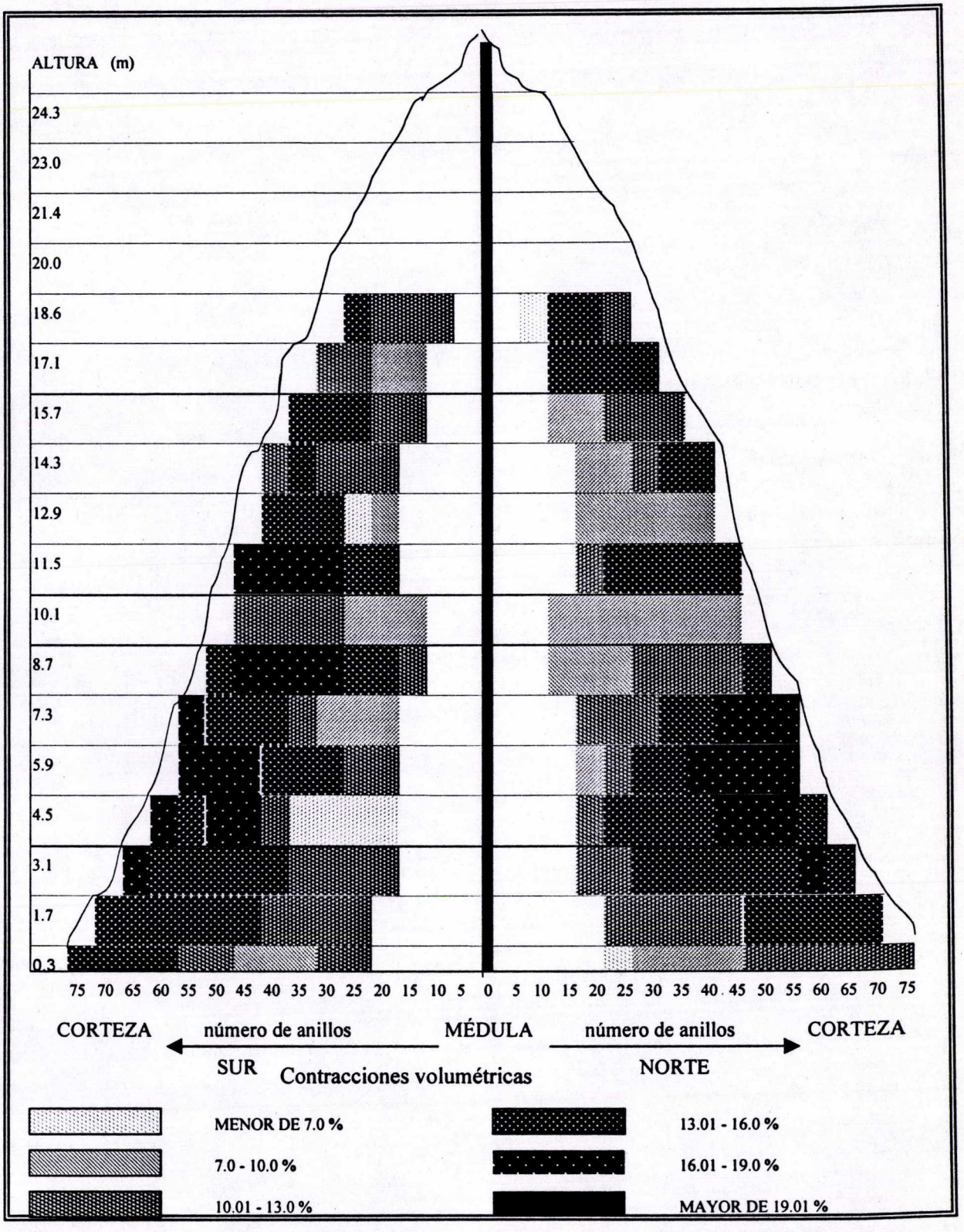


Fig. 30. Perfil de variación en dirección transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas de *Pinus ayacahuite* var *veitchii* con los valores reales. En la zona y anillos sin marcación no se determinaron valores.

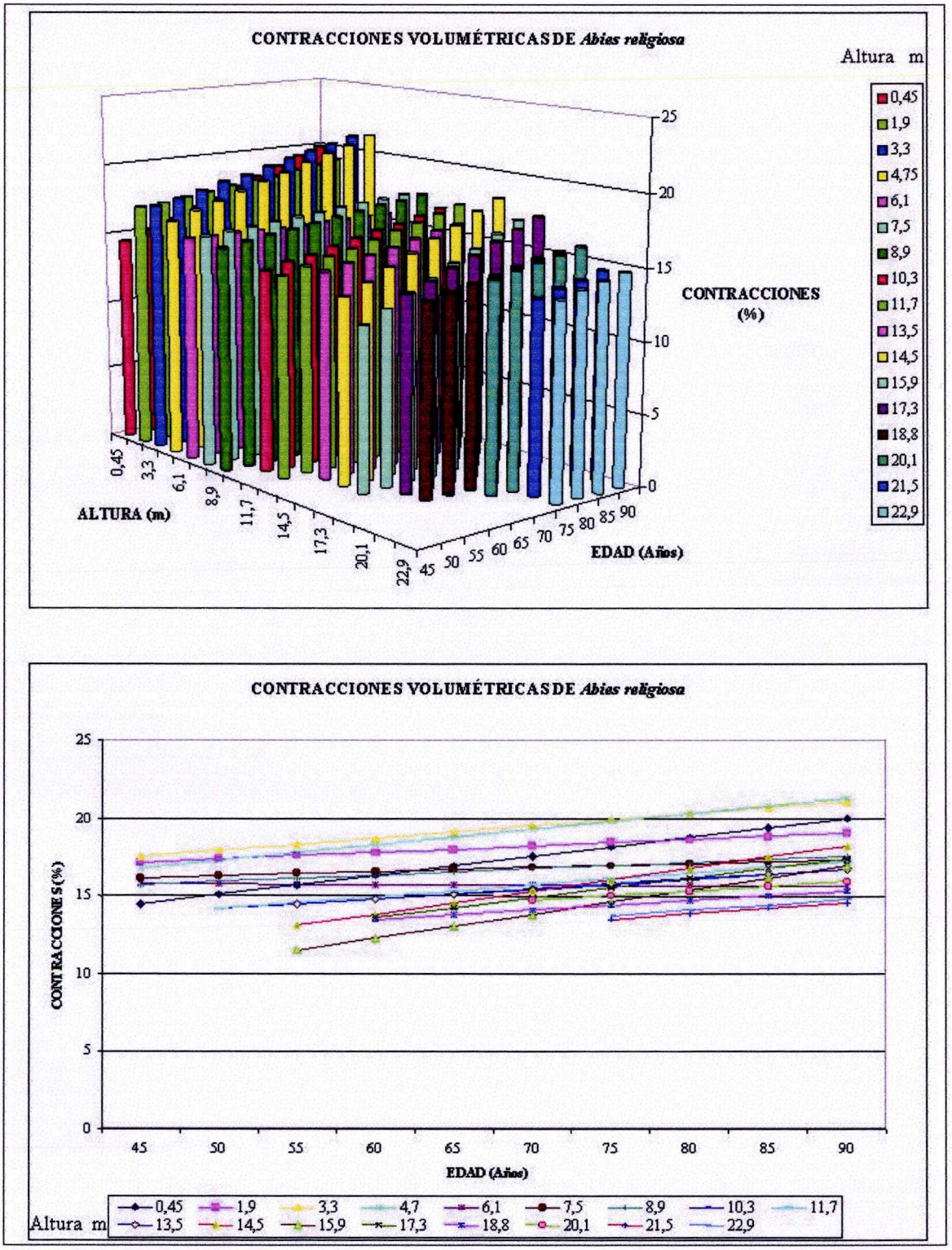


Fig. 31. Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas de *Abies religiosa* con los valores estimados estadísticamente.

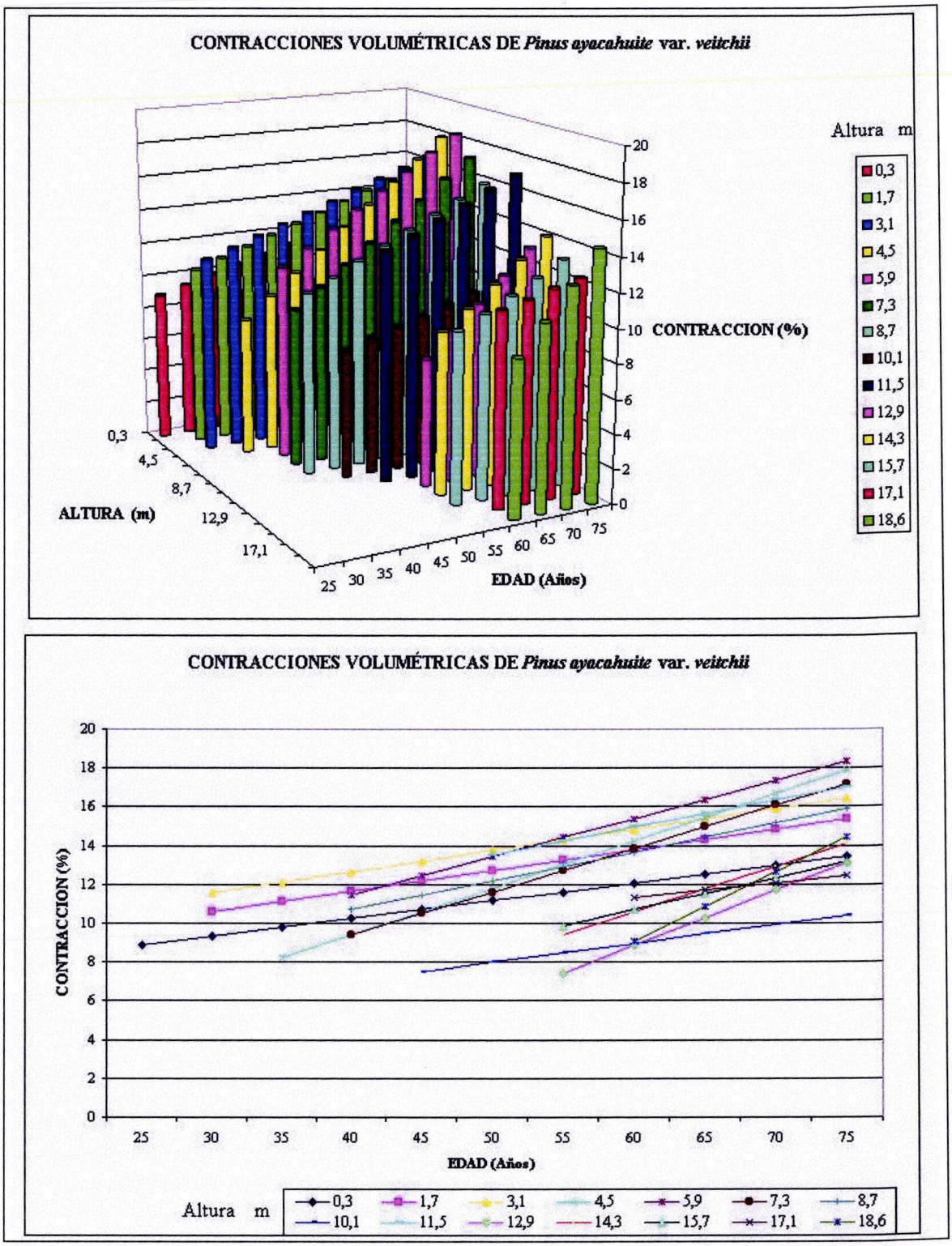


Fig. 32. Variación en sentido transversal y longitudinal de las contracciones volumétricas *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* con los valores estimados estadísticamente.

En el análisis estadístico se observó que la edad es la variable que más explica el comportamiento de las contracciones lineales y volumétricas como lo muestran los valores de los coeficientes de correlación mostrados en los Cuadros 7, 8 y 9 donde se aprecia que al aumentar la edad del árbol aumentan las contracciones para todas las alturas, con excepción de las contracciones tangenciales de *Abies religiosa* las cuales no presentan un patrón definido como en las contracciones de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*.

Cuadro 7. Valores encontrados al relacionar la edad con altura en las contracciones radiales.

Abies religiosa				
ALTURA	β_0	β_1	R^2	n
0.45	-1,242544635	0,105091627	0,887405476	20
1.9	3,004223958	0,044809872	0,648083788	20
3.3	1,56862197	0,08366893	0,84315486	20
4.75	1,61484027	0,0810727	0,85769744	20
6.17	3,75913083	0,02164036	0,18105392	20
7.55	2,32414093	0,04409036	0,45617679	20
8.95	0,69850825	0,05054279	0,72790881	20
10.35	1,02167156	0,0559514	0,56983375	18
11.75	2,480921608	0,034106118	0,279638777	18
13.5	1,94245787	0,04486741	0,42357833	16
14.55	0,40590025	0,07324226	0,80878678	16
15.95	-1,66161588	0,08648095	0,56225927	16
17.37	-0,44461809	0,07117879	0,66348601	14
18.8	3,0919686	0,01938136	0,10522305	14
20.18	1,95738162	0,03490259	0,22854885	10
21.56	-3,63393323	0,10083458	0,89400632	8
22.98				
24.36				
25.86				
27.27				

Pinus ayacahuite var. *veitchii*				
ALTURA	β_0	β_1	R^2	n
.3	1,46837927	0,03634122	0,48640705	20
1.72	0,88989769	0,06092135	0,81547849	20
3.11	0,76801706	0,06918186	0,89171565	20
4.52	-1,91089907	0,11551055	0,81508936	18
5.93	-1,58592261	0,11657512	0,82826846	16
7.34	-2,22446299	0,10782442	0,66335591	16
8.76	-1,82795242	0,10900613	0,90822828	16
10.17	0,81054965	0,0294075	0,59426568	14
11.55	-0,6954794	0,08584936	0,79376079	12
12.92	-0,65893527	0,05866514	0,58981099	10
14.33	-3,90807329	0,11343483	0,84539197	10
15.77	1,713481	0,02483102	0,19203669	10
17.19	0,84620567	0,03513981	0,30850142	8
18.62	0,0619466	0,03818678	0,53268786	8
20.05				
21.46				
23.01				
24.39				

β_0 y β_1 = Parámetros estimados R^2 = Coeficiente de correlación n = Número de observaciones

Cuadro 8. Valores de contracción tangencial relacionando edad con altura aplicando el modelo linealizado de Schumacher

Abies religiosa				
ALTURA (m)	β_0	β_1	R^2	n
0.45	12.39865720	6.37869951	0.0989277	20
1.9	12.49115751	3.72629032	0.047796	20
3.3	12.06648478	-1.15798538	0.0107986	20
4.75	13.87298849	10.76416981	0.2966894	20
6.17	8.927429202	-8.377298507	0.06706	20
7.55	10.44872360	-4.88342690	0.1317347	20
8.95	11.43599318	0.86432613	0.0019574	20
10.35	10.76221477	2.99223486	0.003888	18
11.75	11.86048445	7.71404878	0.065162	18
13.5	13.47670181	17.23645863	0.2706997	16
14.55	13.07767932	13.62900158	0.1330771	16
15.95	15.77863849	36.58035250	0.2162152	16
17.37	15.32730827	30.02126647	0.2214418	14
18.8	9.545697479	0.877226922	0.00039172	14
20.18	12.41802184	12.41802184	0.0453128	10
21.56	8.03752944	-12.42938288	0.0355424	8
22.98	15.08426957	40.13578530	0.0273043	8
24.36				
25.86				
27.27				

Pinus ayacahuite var. *veitchii*				
ALTURA (m)	β_0	β_1	R^2	n
.3	5,05466542	0,05547061	0,80880485	20
1.72	6,62062399	0,04224737	0,78745607	20
3.11	7,83402281	0,0290806	0,63097848	20
4.52	1,63628352	0,1260095	0,78227249	18
5.93	5,1786206	0,07861084	0,71874237	16
7.34	4,28910472	0,08728493	0,67570258	16
8.76	7,35236105	0,02876924	0,43979579	16
10.17	2,1474102	0,06705662	0,90962053	14
11.55	8,01769159	0,04036826	0,45101516	12
12.92	-5,62495146	0,18753163	0,86326755	10
14.33	-0,93580046	0,13707497	0,72415032	10
15.77	-0,89662078	0,13090108	0,86923616	10
17.19	-0,92433772	0,13198811	0,66495828	8
18.62	-5,8005769	0,21655414	0,64749621	8
20.05				
21.46				
23.01				
24.39				

β_0 y β_1 = Parámetros estimados R^2 = Coeficiente de correlación n = Número de observaciones

Cuadro 9. Valores de los parámetros encontrados por medio de regresión lineal, relacionando edad con contracciones volumétricas para todas las alturas en las dos especies.

Abies religiosa				
ALTURA (m)	β_0	β_1	R^2	n
0.45	9.010924	0.121382	0,89749546	20
1.9	15,3163877	0.041337	0,4435147	20
3.3	14.034538	0.077897	0,697304	20
4.75	12.215490	0.100975	0,68563912	20
6.17	15.898631	-0.003154	0,0011324	20
7.55	15.038836	0.025480	0,11132077	20
8.95	13.839666	0.041328	0,25721201	20
10.35	11.006764	0.063544	0,28327545	18
11.75	10.336309	0.076247	0,65796591	18
13.5	11.067393	0.062145	0,32809272	16
14.55	4.971819	0.147507	0,74766393	16
15.95	2.983058	0.155003	0,63879882	16
17.37	6.036100	0.126434	0,55164607	14
18.8	9.794368	0.061479	0,38342247	14
20.18	10.431800	0.060933	0,15950955	10
21.56	8.032995	0.072809	0,49188582	8
22.98	8.544475	0.069325	0,21730162	8
24.36				
25.86				
27.27				
Pinus ayacahuite var. *veitchii*				
ALTURA (m)	β_0	β_1	R	n
.3	6.637964	0.090580	0,82057273	20
1.72	7.459196	0.105632	0,9507552	20
3.11	8.371803	0.107524	0,96599722	20
4.52	-0.298083	0.242258	0,81087615	18
5.93	3.685802	0.195102	0,85157264	16
7.34	0.488722	0.222543	0,88687637	16
8.76	4.845793	0.147141	0,88638506	16
10.17	3.146550	0.097017	0,9750639	14
11.55	6.523360	0.140224	0,86906203	12
12.92	-8.222775	0.284451	0,89698225	10
14.33	-3.433405	0.233859	0,82765926	10
15.77	0.874445	0.163873	0,82509417	10
17.19	6.652780	0.077529	0,39872925	8
18.62	-12.649285	0.361542	0,78617407	8
20.05				
21.46				
23.01				
24.39				

β_0 y β_1 = Parámetros estimados R^2 = Coeficiente de correlación n = Número de observaciones

5. CONCLUSIONES

1.- La longitud de las traqueidas presenta un patrón de comportamiento definido en dirección transversal incrementando de la médula hacía la corteza y en dirección longitudinal aumenta hacia la parte cercana a la copa para después volver a disminuir, esto en las dos especies.

2.- En la densidad básica en dirección transversal, el *Abies religiosa* presentó la tendencia de aumentar de la médula hacía la corteza, mientras que en *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* este valor disminuyó en la misma dirección. En dirección longitudinal, el Abies religiosa presentó un patrón definido de incrementar con la altura en el árbol, mientras que el *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* no presentó un patrón definido.

3.- El contenido de humedad verde, en dirección transversal al fuste, presentó una ligera tendencia de incrementar de la médula hacía la corteza en ambas especies. Por el contrario de la base a la copa no se encontró un comportamiento definido.

4.- Las contracciones volumétricas y lineales en dirección transversal incrementaron de la médula hacía la corteza en ambas especies, mientras que en dirección longitudinal, presentaron la tendencia de disminuir con la altura en el árbol, con excepción de las contracciones tangenciales de *Abies religiosa* que presentaron un comportamiento muy irregular.

5.- La madera de *Abies religiosa* presenta un patrón de variación más definido en comparación con el *Pinus ayacahuite* var *veitchi*i para todas las propiedades estudiadas, con excepción de las contracciones tangenciales.

6. LITERATURA CITADA

BAREFOOT C., A y F. W. HANKINS. 1982. Identification of Modern and Tertiary Woods. CLEARENDON PRESS-OXFORD. New York, U. S. A. pp 54-56

BENSON H., P. 1963. The Aplication of Silviculture in Controlling the Specific Gravity of Wood. Technical Bulletin No. 1288. U.S. Departament of Agriculture. U.S.A. pp 6-7 y 52-91.

BLOUIN, D. *et al.* 1994. Wood Quality of Norway Spruce Grown in Plantation in Quebec. Wood and Fiber Science. 26(3): 342-353.

BONILLA A., V. O. 1993. Variación Natural en *Pinus hartwegii* Lindl.: Longitud de Traqueidas de la Madera a lo Largo del Eje Neovolcánico. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 61-68.

BROLIN, A.; A. NORÉN y E. G. STAHL. 1995. Wood and Pulp Characteritics of Juvenile Norway spruce: A Comparison Between a Forest and Agricultural Stand. Tappi Journal. 78(4):203-214.

BUCIO S., Y. I. 1982. Determinación de la variación de las traqueidas en *Pinus douglasiana*. Bol. Téc. No. 73. Inst. Nac. Invest. For. México, D. F. 30 p.

BUES, C.T. 1996. Wood quality of Norway spruce trees planted at wide spacing and early pruned in the Frankenwald. Forst-un-Holz. 51(2): 45-49.

CALIXTO T,. O. 1996. Variación del peso específico y longitud de traqueidas de *Pinus herrerae* Martínez de la región del Salto, Durango. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. 90 p.

CLARK III., A. y J. R. SAUCIER. 1989. Influence of initial planting density, geographic location, and species on juvenile wood formation in southern pine. Forest Products Journal. 39(78): 42-48.

COPES D., L y D.M. OLIVER. 1970. The Relationship Between Douglas-Fir Graft Compatibility and Wood Specific Gravity. Journal of Forestry. 68(11): 726.

CRUZ De L., J. 1992. La Madera del *Pinus pseudostrobus* Lindl. Mexicano. 'Amatl, Boletín de Difusión del Instituto de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Zapopan, Jalisco. 6(22-23): 13-17.

CHOONG T., E.; P. J. FOOG y C. B. POLLOCK. 1989. Variation in Shrinkage Properties of Second-Growth Baldcypres and Tupelo-Gum. Wood and Fiber Science. 21(1): 17-29.

DESCH H., E. y J. M. DINWOODIE. 1981. TIMBER: Its Structure, Properties and Utilisation. 6ª edición. Timber Press. Oregon, U.S.A. pp. 161-162 y 174-176.

DOOD S., R. y A. B. POWER. 1986. Variation in Wood Structure of White Fir Along an Elevational Transect. Canadien Journal forestry. 16: 303-310.

DUFFIELD W. J. 1964. Tracheid Length Variation Patterns in Douglas-Fir and Selection of Extreme Variants. Tappi. 47(2):122-128.

DUMAIL J., F. y P. CASTERA. 1997. Transverse Shrinkage in maritime pine juvenil wood. Wood Science and Technology. 31: 251-264.

DUTILLEUL, P., M. HERMAN y T. AVELLA. 1998. Growth rate effects on correlations among ring width, wood density, and mean tracheid length in Norway spruce (*Picea abies*). Can. J. For. Res. 28:56-68.

ECHENIQUE-MANRIQUE, R. y J. BECERRA M. 1981. Algunas Características Fisico-Mecánicas de la Madera de Tres Especies de la Cordillera Neovolcánica. 3ª edición. Nota Técnica No. 6. Inst. Nac. de Invest. For. México, D. F.. pp 3-6.

EGUILUZ P., T. 1988. Distribución Natural de los Pinos de México. Centro de Genética Forestal A. C. Nota Técnica No. 1. Chapingo, Texcoco, México. pp 1-2.

ESPINOZA H., R. 1996. Aspectos Químicos de la Madera de *Abies religiosa* var. *típica* (oyamel). Ciencia y Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. 10:12-17.

FRÜHWALD, A. 1986. Technological Properties of Wood from trees in Polluted Regions. IAWA Bulletin n.s. 7(4):389-397.

FUENTES S., M. 1995. Tecnología de la Madera II. Propiedades Físico-mecánicas. Mimeografiado. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 6-56.

GARCÍA M., E. S. 1984. Variación del Peso Específico de Siete Especies de Pino del Estado de Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 26-48

GEILFUS F., 1989. El Árbol al Servicio del Agricultor. Manual de Agroforestería para el desarrollo rural. Vol. 2. CATIE y ENDA-CARIBE. Santo Domingo, R. D. pp 439-441.

GURIDI G., L. I. 1980. La Madera en las Artesanías del Estado de Michoacán. Bol. Div. No. 50. Inst. Nac. Invest. For. México, D. F. pp 11.

HATON, J. V. 1997. Pulping and papermaking properties of managed second-growth softwoods. Tappi Journal. 80(1): 178-184.

HERNÁNDEZ G., A. 1987. Variación de la Longitud de las Traqueidas de Cuatro Especies de Pino de la Sierra de Juárez, Oaxaca. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Univesidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 21-35

HERNÁNDEZ H., F. 1985. Variación Natural en *Pinus hartwegii*: Peso Específico y Longitud de Traqueidas en Zoquiapan, México. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 27-40.

HERNÁNDEZ P., J. V. 1985. Variación Natural en *Pinus hartwegii*: Peso Específico de la Madera a lo Largo del Éje Neovolcánico. Tesis profesional. Departamento. de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 22-34.

HILLIS E., W. 1962. Wood Extractives and their Significance to Pulp and Paper Industries. Academic Press. New York, U.S.A. pp 24-45.

HUERTA C., J. 1978. Anatomía de la Madera de 12 Especies de Coníferas Mexicanas. 3ª edición. Bol. Téc. No. 51. Inst. Nal. de Invest. For. México. pp 15-17.

JANE, F. W. 1970. The Structure of Wood. 2ª Edición. Adam & Charles Black. Londres, Gran Bretaña. pp 195 – 233.

JOZSA, A. L. y H. BRIX. 1989. The Effects of fertilization and Thinning on Wood Quality of 24 Year-Old Douglas-Fir Stand. Canadien Journal forestry. 19: 1137-1145.

KOEHLER B., S. A. 1924. The properties and uses of wood. McGraw-Hill. New York, U.S.A. pp 36-42.

KOLLMANN, F. 1959. Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Tomo I. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicios de la Madera. Madrid, España. pp 359-447.

KORT, I; V. LOEFFEN y P. BAAS. 1991. Ring Width, Density and Wood Anatomy of Douglas Fir With Different Crown Vitality. IAWA. Bulletin n.s. 12(4): 453-465.

KRAHMER L., R. 1966. Variation of Specific in Western Hemlock Trees. Tappi. 49(5): 227-229.

LARIOS S., P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 22-30.

LENHART, J. D.; B. E. CUTTER y K. HO-SHINN. 1977. Specific Gravity at Various Positions Along The Stem of Planted Loblolly Pine Trees. Forest Products Journal. 27(9): 43-44.

LINDSTRÖM, H. 1996a. Basic Density in Norway Spruce. Part I. a Literature Review. Wood and Fiber Science. 28(1): 15-27.

LINDSTRÖM, H. 1996b. Basic Density in Norway Spruce. Part III. Development from Pith Outwards. Wood and Fiber Science. 28(4): 391-405.

LINDSTRÖM, H. 1997. Fiber Length, Tracheid Diameter, and Latewood Percentage in Norway Spruce: Development from Pith Outwards. Wood and Fiber Science. 29(1):21-34.

MADRIGAL S., X. 1982. Clave Para la Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. Bol. Div. No. 58. Ins. Nac. Invest. Ftales. México, D. F: pp 7-15.

MANCERA V., O. 1956. Contribución al Conocimiento de la Anatomía Microscópica de Algunas Especies de Pinos Mexicanos. Tesis Profesional. I. P. N. México, D. F. pp 51-54.

MARTINEZ, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. 2ª ed. Botas. México, D.F. pp 119-122.

MARKSTROM C., D.; H. E. TROXELL y CH. E. BOLDT. 1983. Wood properties of immature ponderosa pine after thinning. Forest Products Journal. 33(4): 33-36.

MATZIRIS, D. I. 1979. Variation of wood density in pine grown from four seed sources at two sites in Grece. Silvae Genetica. 28(2-3):104-106.

McALISTE H., R. y A. CLARK III. 1992. Shrinkage of juvenile and mature wood of loblolly pine from three locations. Forest Products Journal. 42(71/8): 25-28.

McALISTER H., R. y H. R. POWERS Jr. 1992. Physical and Mechanical Properties of Half-sib Families of Rust-resistant Loblolly and Slash Pine. Forest Products Journal. 42(11/12): 15-20.

MEYLAN B., A. 1968. Cause of High Longitudinal Shrinkage in wood. Forest Products Journal. 18(4): 75-78.

MIROV N., T. 1967. The Genus *Pinus*. The Ronald Press Company. New York. U.S.A. pp 194-195

MITCHELL M., D. y M. P. DENNE. 1997. Variation in density of *Picea sitchensis* in relation to within-tree trends in tracheid diameter and wall thickness. Forestry Oxford. 70(1): 47-60

NICHOLLS P., J. W. 1967. Assesment of Wood Qualities for Tree Breeding. IV Pinus pinaster Ait. Grown in Western Australia. Silvae Genetica. 16(1): 21-28.

NOVELO G., G. de J. 1964. Posibles Aplicaciones de la Madera de 4 Especies Tropicales con Base en sus Propiedades Físicas y Mecánicas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. pp 6.

OK L., D. y W. YOUNG S. 1997. Cambial Development and tracheid length of Dwarf Pines (*Pinus densiflora* and *P. thunbergii*). IAWA Journal. 18(3): 301-310.

OKKONEN E., A.; H. E. WAHLGREN y R. R. MAEGLIN. 1972. Relationships of Specific Gravity to Tree Height In Commercially Important Species. Forest Products Journal. 22(7): 37-42.

OLVERA C., L. P. 1985. Descripción Anatómica de la Madera de Siete Especies del Género Pinus. Bol. Téc. No. 126. Inst. Nac. Invest. For. México, D.F. pp 20-25.

ORTEGA S. V., J. H. 1962. Propiedades Físicas y Mecánicas de la Madera de *Abies religiosa*. (H.D.K.) Schl. Et Cham y *Pinus hartewegii*. Lindl. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 85 p.

PANSHIN A,. J. y C. De ZEEUW. 1980. Textbook of Wood Technology. 4ª Edición. McGraw-Hill. New York, U.S.A. pp 202-204 y 249-281.

PARASKEVOPOULOU H., A. 1991. Variation of Wood Structure and Properties of *Cupressus sempervirens* var. *horizontalis* in Natural Population in Greece. IAWA. Bulletin n,s. 12(2): 195-206.

PERRY J., P. Jr. 1991. The Pines of México and Central América. Timber Press. Portland, Oregon. U.S.A. pp. 50-52.

PLANCARTE B., A. 1987. Variación del Peso Específico de Árboles Selectos de *Pinus caribaea* var *hondurensis* de la Sabana, Oaxaca. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, México. pp 29-40.

QUIÑONES O., J. C. 1974. Características Físicas y Mecánicas de la Madera de 5 Especies Mexicanas. Bol. Téc. No. 42. Inst. Nac. Invest. For. México D.F. 42 p.

RESCH, H. y D. R. ARGANBRIGHT. 1968. Variation of Specific Gravity, Extractive Content and Tracheid Length in Redwood Trees. Forest Science. 14(2): 148-155.

RESCH, H. y K. BASTENDORFF. 1978. Some Wood Properties of Plantation Pines, *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa*. Wood and Fiber. 10(3): 210-217.

ROMERO A., C.; C. DE LA PAZ PEREZ O y G. CORRAL L. 1978. Características anatómicas y físico-mecánicas de 8 especies de coníferas de Baja California Norte. Bol. Téc. No. 57. Inst. Nac. Invest. For. México D.F. 48 p.

SCHNIEWIND P., A. and B. GAMMON. 1986. Strength and Related Properties of Bishop Pine II. Properties of Juvenile Wood from Young Stems of Various Provenances. Wood and Fiber Science. 18(3): 361-368.

SCHUMACHER, F. J. 1939. A new growth curve and its applications to timber yields studies. J. For. 37:819-820.

SETH K., M. y H. O. AGRAWAL. 1984. Variation in Tracheidas Length in Blue Pine (*Pinus wallichiana* A. B. Jackson). Part 3. Multivariate Analyses of the Effects of Age and Distance from the Pith on First-formed Earlywood Tracheid Length. Holzforschung. Bd. 38(1):1-6.

SHEPARD K., R. y J. E. SHOTTAFER. 1992. Specific gravity and mechanical property-age relationships in red pine. Forest Products Journal. 42(7/8): 60-66.

SHORTLE, W.C. y J. BAUCH. 1986. Wood Characteristics of Abies balsamea in the New England States Compared to Abies alba from Sites in Europe With Decline Problems. IAWA Bulletin n.s. 7(4):375-386.

SIMPSON H., L. y M. P. DENNE. 1997. Variation of ring width and specific gravity within tree from unthinned Sitka spruce spacing trial in Clocaenog, North Wales. Forestry Oxford. 70(1): 31-45.

TANG, R. C. y N. D. SMITH. 1975. Investigation of Anisotropia Shrinkage of Isolated Softwood Tracheids With Scanning Electron Microscope Part I. Longitudinal Shrinkage. Wood Science. 8(1): 415-424.

TORELLI, N. 1980-1982. Estudio Promocional de 43 Especies Forestales Tropicales Mexicanas. Programa de cooperación científica y técnica México-Yugoslavia. México, D.F. 73 p.

TSOUMIS, G. 1969. Wood as raw material. Pergamon Press. New York. pp 123-137.

VACA G., A. 1992. Variación del Peso Específico de la Madera y Longitud de Traqueidas Dentro de Árboles de *Pinus cembroides* zuuc, de la Región de Santiago Papasquiaro, Durango. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 88 p.

VALENCIA M., S. 1994. Variación Genética de la Densidad de la Madera en *Pinus patula* Schl et Cham y su Relación con la Velocidad de Crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. pp 15-23 y 96-97.

VAZQUEZ S., J.; W. BARRET E. y E. LITTLE Jr. 1962. Botánica. Consideraciones Generales Sobre Coníferas Mexicanas. En FAO-INIF. Seminario y viaje de estudio de coníferas latinoamericanas. Pub. Esp. No. 1. Inst. Nal. Invest. For. México, D.F. pp 17-20.

VOORHIES, G. y D. A. JAMESON 1969. Fiber Length in Southwestern Young-Growth Ponderosa Pine. Forest Products Journal. 19(5): 52-55.

WALKER, J. C. F. *et al.* 1993. Primary Wood Processing, Principles and practice. Chapman y Hall. London, Ingland. pp 158-170.

WANGAARD F., F. 1950. The Mechanical Properties of Wood. Jhon Wiley & Sons. New York, U.S.A. pp 167-171.

WARING R., H. y S. W. RUNNING. 1978. Sapwood water storage: Its Contribution to Transpiration and Effect Upon Water Conductance Through the Stems of old-growth Douglas-fir. Plant, Cell and Environment. 1: 131-140.

WHEELER Y., E.; B. J. ZOBEL y D. L. WEEKS. 1966. Tracheid Length and Diameter Variation in the Bole of Loblolli Pine. Tappi. 49(11):484-490.

WILSON, K. y D. J. B. WHITE. 1986. The Anatomy Wood: Its Diversity and Variability. Stobart y Son LTD. London, Great Britain. 309 p.

WIMMER, R. 1995. Intra-annual Cellular Characteristics and Their Implications for Modeling Softwood Density. Wood and Fiber Science. 27(4): 413-420.

WRIGHT J., A. y F. S. MALAN. 1991. Variation in Wood and Tracheid Properties of *Pinus maximinoi*, *Pinus pseudostrobus* and *P. patula*. IAWA. Bulletin n.s. 12(4): 467-475.

WRIGHT J., A.; A. MARIN V. y W. DVORAK. 1996. Conservación Genética *ex situ* del *Pinus ayacahuite*. Recursos Genéticos Forestales no. 24. FAO. Roma, Italia. pp. 51-53.

YANCHUK D., A. y M. M. MICKO. 1990. Radial Variation of Wood Density and Fibre Length in Tiembling Aspen. IAWA. Bulletin n.s. 11(2): 211-215.

YANG C. K.; C. A. BENSON y J. K. WONG. 1986. Distribution of Juvenile Wood in Two Stems of *Larix laricina*. Canadien Journal Forestry. 16: 1041-1049.

YIN Z., S.; D. SIMPSON y E. K. MORGENSTERN. 1996. Variation in the Relationship of Wood Density With Growth in 40 Black *Spruce (Picea mariana*) Families Grown in New Brunswick. Wood and Fiber Science. 28(1): 91-99.

ZOBEL, B. y J. TALBERT. 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México, D.F. pp 413-424.

ZOBEL, B. y VAN BUIJTENEN, J. P. 1989. Wood Variation: Its Causes and Control. Springer-Verlag. Berlin.