



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONTRIBUCIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA
DE *Pinus greggii* PROVENIENTE DE DOS PLANTACIONES EN
HIDALGO.

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

INGENIERO EN MANEJO DE RECURSOS FORESTALES

PRESENTA:

AIDE NAYELI GARCÍA VARGAS

ENERO 2005

TULANCINGO DE BRAVO HIDALGO.

Dedico este trabajo a mis padres y hermanos con quienes he compartido los mejores momentos de mi vida.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco ante todo a Dios, que me presta la vida y me da las fuerzas para seguir adelante.

A mis padres por su apoyo, ejemplo de perseverancia y por su paciencia.

También quiero dejar constancia de mi gratitud a todas las personas que de forma directa o indirecta contribuyeron a la realización de este trabajo.

En especial, agradezco a mi Director de Tesis, el M. en C. Rodolfo Goche Telles, por su dedicación y apoyo que hizo posible el desarrollo de este trabajo, así como al Comité Revisor por sus comentarios críticos y minuciosa atención prestada a esta investigación.

A todos los profesores que intervinieron en mi formación profesional, así como a mis compañeros Oscar Romero y Alberto Peralta por su amistad, compañerismo y por compartir conmigo grandes momentos durante el periodo académico.

Por último, deseo expresar mi sincera gratitud a la Maestra Raimunda por la confianza, motivación y los consejos en el ámbito académico y personal.

CONTENIDO

	PÁG.
INDICE DE CUADROS -----	i
INDICE DE FIGURAS -----	ii
RESUMEN -----	iv
SUMARY -----	v
1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. OBJETIVOS -----	3
Objetivo General -----	3
Objetivos particulares -----	3
3. HIPÓTESIS -----	4
4. REVISIÓN DE LITERATURA -----	5
4.1. Descripción de la especie -----	5
4. 1. 1. Nombre científico -----	5
4. 1 .2. Nombres comunes -----	5
4. 1. 3. Distribución y Hábitat -----	5
4. 1. 4. Descripción botánica -----	6
4. 1. 5. Descripción macroscópica de la madera -----	7
4. 1 .6. Descripción microscópica de la madera -----	7
4. 1. 7. Anillos de crecimiento -----	7
4. 1. 8. Usos de la madera -----	8
4. 2. Propiedades físicas de la madera -----	9
4. 2. 1. Densidad básica -----	9
4. 2. 1. 1. Variación radial de la densidad básica -----	9

4. 2. 1. 2. Variación longitudinal de la densidad básica -----	12
4. 2. 2. Ancho de anillos -----	13
4. 2. 2. 1. Relación entre el ancho de anillos y la densidad básica -----	14
4. 2. 2. 2. Variación radial en ancho de anillos -----	16
4. 2. 3. Relación entre densidad básica y porcentaje de madera tardía -----	17
4. 2. 4. Relación entre densidad básica y contracciones -----	19
5. MATERIALES Y MÉTODOS -----	22
5. 1. Descripción de las áreas de estudio -----	22
5. 1. 1. Municipio de Metztitlán -----	22
5. 1. 2. Municipio de Acaxochitlán -----	23
5. 2. Fase de campo -----	26
5. 2. 1. Lugar de colecta -----	26
5. 3. Fase de laboratorio -----	28
5. 3. 1. Elaboración de las probetas -----	28
5. 3. 2. Medición del ancho de anillos de crecimiento -----	29
5. 3. 3. Cálculo del porcentaje de madera tardía -----	29
5. 3.4. Cálculo de la densidad básica -----	30
5. 3. 5. Contracciones volumétricas -----	32
5. 4. Análisis estadístico -----	33
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	34
6. 1. Plantación ubicada en el municipio de Metztitlán -----	34
6. 1. 1. Densidad básica -----	34
6. 1. 2. Ancho de anillos -----	38
6. 1. 3. Correlación entre ancho de anillos y densidad básica -----	41
6. 1. 4. Porcentaje de madera tardía -----	43
6. 1. 5. Correlación entre madera tardía y densidad básica -----	45
6. 1. 6. Porcentaje de madera temprana -----	47

6. 1. 7. Correlación entre madera temprana y densidad básica -----	48
6. 1. 8. Contracciones volumétricas -----	50
6. 1. 9. Correlación entre contracciones volumétricas y densidad básica -----	52
6. 2. Plantación ubicada en el municipio de Acaxochitlán -----	53
6. 2. 1. Densidad básica -----	53
6. 2. 2. Ancho de anillos -----	54
6. 2. 3. Relación entre el ancho de anillos y densidad básica -----	55
7. CONCLUSIONES -----	56
8. RECOMENDACIONES -----	58
9. LITERATURA CITADA -----	59
10. ANEXOS -----	66

INDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁGINA
1	Características dasométricas promedio para cada una de las plantaciones estudiadas-----	26
2	Prueba de F del análisis de varianza para la densidad básica y ancho de anillos. -----	39
3	Variación de la densidad básica y ancho de anillos promedio. --	42
4	Valores promedios por secciones del porcentaje de madera tardía, en las dos alturas estudiadas.-----	43
5	Proporción de madera temprana (%) en dos alturas. -----	47
6	Valores máximos y mínimos (%) para contracciones volumétricas en las dos alturas. -----	51

INDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
1	Municipios donde se ubican las plantaciones de las cuales fueron extraídas las muestras. -----	25
2	Colecta de las muestras de madera de la plantación de Metztlán, Hidalgo. -----	27
3	Preparación de las probetas utilizadas para determinar la densidad básica y el ancho de anillos. -----	28
4	Ejemplo de una de las probetas utilizadas en la obtención del ancho de anillos.-----	29
5	Anillos de crecimiento obtenidos al ser seccionadas las probetas.. --- -----	29
6	Estufa en la que se realizó el secado de los anillos.. -----	31
7	Determinación del peso de cada anillo en estado verde. -----	31
8	Determinación del volumen mediante el método de desplazamiento de fluidos. -----	32
9	Variación de la densidad básica de la médula a la corteza, cada valor representa la media de 12 mediciones. DN (altura al diámetro normal), BASE (altura a 30 cm a partir de la base del árbol). ----- -----	34
10	Variación del ancho de anillos de la médula a la corteza a dos alturas del árbol, cada valor representa la media de 12 mediciones. DN (altura al diámetro normal), BASE (altura a 30cm a partir de la base del árbol). -----	38
11	Gráficas de comparación entre el ancho de los anillos de crecimiento y la densidad básica a) base b) diámetro normal. Cada valor representa la media de 12 mediciones. Anchan (ancho de anillos), DB (densidad básica). -----	42
12	Variación de la madera tardía en el radio del fuste. -----	44
13	Relación entre porcentaje de madera tardía y densidad básica a dos alturas A) Diámetro normal B) Base. -----	46

14	Variación de la madera temprana en el radio del fuste. -----	47
15	Relación entre porcentaje de madera temprana y densidad básica a dos alturas (a) Diámetro normal b) Base). -----	49
16	Comportamiento de las contracciones volumétricas totales a través del radio del fuste, cada valor representa la media de 12 mediciones. DN (altura al diámetro normal), BASE (altura a 30 cm a partir de la base del árbol). -----	51
17	Variación de la densidad básica a través del radio del fuste. Cada valor representa la media de 10 mediciones. -----	53
18	Variación del ancho de anillos de crecimiento a través del radio del fuste. Cada valor representa la media de 10 mediciones. -----	54
19	Correlación entre el ancho de anillos y densidad básica. Cada valor representa la media de 10 mediciones. -----	55

RESUMEN

Con el propósito de evaluar la madera de *Pinus greggii* Engelm. de dos plantaciones localizadas en los municipios de Acaxochitlán y Metztlán, Hidalgo, se tomaron muestras de madera a una y dos alturas (respectivamente) del fuste de cada árbol. En estas muestras se determinó la densidad básica de la madera, el ancho de los anillos de crecimiento, la proporción de madera temprana, proporción de madera tardía y las contracciones volumétricas para la plantación de Metztlán y solo ancho de anillos y densidad básica para Acaxochitlán.

Los resultados para la plantación de Metztlán indicaron que la densidad básica, la proporción de madera tardía y las contracciones volumétricas aumentaron en función de la distancia de la médula hacia afuera y por el contrario el ancho de anillos y la proporción de madera temprana disminuyeron de la médula a la corteza. El valor de las variables estudiadas a través de la altura del árbol aumentaron en el mismo sentido con la altura; en el caso de la densidad y las contracciones y para el caso de el ancho de anillos, la proporción de madera temprana y madera tardía la diferencia en alturas no resulto ser significativa. Por otra parte al correlacionar la densidad con cada una de las variables se encontró que solo mantiene una relación altamente significativa con todas, a excepción de las contracciones volumétricas.

Los resultados obtenidos para la plantación de Acaxochitlán mostraron que la densidad y el ancho de anillos mantienen una relación inversamente proporcional, ya que mientras el ancho de anillos incrementa de la medula a la corteza, la densidad disminuye en el mismo sentido.

SUMMARY

In order to evaluate the wood of two *Pinus greggii* Engelm, plantations in Acaxochitlán and Metztitlán, Hidalgo, wood samples were taken from two stem heights of each tree. Wood density, ring width, earlywood / latewood ratio and the volume shrinkage were determined on each sample for the Metztitlán plantation and only ring width and wood density for Acaxochitlán one.

The results for the plantation in Metztitlán showed that wood density, the proportion of latewood and volume shrinkage increased from the pith outwards. In the opposite of the rings width and the earlywood proportion decreased from pith to the bark. The behavior of the studied variables through the height of trees resulted in a increase according to the height in density and the shrinkages and for ring width, the proportion of earlywood and late wood, the difference in resultant height was significant. In the other hand, correlation between density with each one of the variables showed that it was highly significant with all of them, in exception to volume shrinkage.

The results obtained of Acaxochitlán plantation showed that wood density and ring width hold a inverse proportional relationship since while the ring width increase from the pith to bark, and the wood density increase in the same way.

1. INTRODUCCIÓN

México tiene un excelente potencial biológico, físico y climático, para el establecimiento de plantaciones forestales (CONAFOR, 2005), estas pueden ser ya sea de tipo comercial como de recuperación de suelos degradados. Para lograr estos objetivos se ha recurrido a la utilización de especies de alto rendimiento que garanticen la obtención del recurso económico o bien para la recuperación de áreas degradadas, en el menor tiempo posible.

Entre las especies más plantadas en los últimos años en el país esta *Pinus greggii* Engelm, especie nativa de ocho estados de la Sierra Madre Oriental (PRONARE, 2001). Se considera que esta especie representa una buena alternativa para la reforestación en sitios degradados debido a su alto porcentaje de sobrevivencia en sitios marginales y buenos incrementos en altura y diámetro (Domínguez *et al.*, 2001).

La densidad de la madera es la principal propiedad a considerar en la determinación de su uso final ya que ésta se manifiesta directamente sobre algunas cualidades como resistencia, trabajabilidad, grado de transformación o conversión, propiedades acústicas, capacidad de usos finales y en aptitud para producir distintos tipos de papel (Barrios, 2004), por lo que la densidad es probablemente el indicador de calidad de la madera extensivamente más estudiado y más usado (Macdonald y Humbert, 2002).

En el país, existen pocas investigaciones sobre la madera extraída de plantaciones, ya que generalmente estas se han enfocado a la madera obtenida de rodales naturales, y

de otras especies. Para *Pinus greggii*, la información sobre aspectos tecnológicos de la madera es escasa, tal como lo muestra el trabajo realizado por Martínez (2000).

Por lo mencionado anteriormente, este trabajo pretende aportar información sobre las propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii*, que contribuya a un mayor conocimiento de esta, y mediante las propiedades encontradas sugerir el uso más adecuado para la madera proveniente de aclareos. Esto servirá de base para generar productos con mayor valor agregado que ayuden a la conservación del recurso mediante un aprovechamiento integral de los árboles.

2. OBJETIVOS

Objetivo General

Conocer algunas propiedades físicas de la madera de *Pinus greggii* Engelm., procedente de una plantación del Municipio de Metztitlán y una del municipio de Acaxochitlán, Hidalgo.

Objetivos particulares

1. Conocer la variación de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus greggii* de las plantaciones de Metztitlán y Acaxochitlán Hgo.
2. Determinar el porcentaje de madera tardía y temprana de la madera de la plantación de Metztitlán Hgo.
3. Obtener las contracciones volumétricas de la madera de *Pinus greggii* de la plantación de Metztitlán Hgo.
4. Encontrar la correlación existente entre las variables estudiadas de la madera proveniente de las dos plantaciones.

3. HIPÓTESIS

Existe variabilidad radial en las propiedades estudiadas (Densidad básica, ancho de anillos, porcentaje de madera tardía porcentaje de madera temprana y contracciones volumétricas) entre árboles y dentro de árboles de *Pinus greggii* Engelm. proveniente de las plantaciones.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE

4.1.1 Nombre científico

Pinus greggii Engelm.

4.1.2 Nombres comunes

A esta especie se le conoce comúnmente como pino prieto (Coahuila), pino ocote (Hidalgo) (Farjon, Pérez de la Rosa y Styles, 1997; López Flores, 1996). En las poblaciones del norte también se le conoce como pino garabato o pino garabatillo (López Flores, 1996) y en las poblaciones del centro como ocote u ocote chino (López Upton, 1996) (citados por Martínez, 2000).

4.1.3 Distribución y Hábitat

El *Pinus greggii* se distribuye de manera natural sobre la Sierra Madre Oriental en los extremos del Sureste de Coahuila, Sur de Nuevo León, Sureste de San Luis Potosí, Querétaro, Hidalgo y el Norte de Puebla (Farjon y Styles, 1997), entre los 20° 00' y 25° 40' de latitud norte y de 97° 40' a 101° 20' de longitud oeste (Eguiluz, 1978; Farjon y Styles, 1997). Su rango de distribución altitudinal es de 1300 a 2600 m.s.n.m, en la parte Norte se distribuye de 2300 a 2700 m.s.n.m. La precipitación anual va de 600 a 800 mm en muchos de los rangos, excepto en el Este, en terrenos escarpados de montañas a lo largo de la línea de borde de Hidalgo – Veracruz, donde la lluvia alcanza entre 1000 y 1600 mm. (Farjon y Styles, 1997). Se desarrolla en suelos delgados,

calizos, pedregosos, de textura migajon areno – arcilloso, de color café rojizo, normalmente pobres en materia orgánica; con pH casi neutro (Eguiluz, 1978), aunque al Norte es más frecuente encontrarlos en suelos ligeramente alcalinos (pH 7–8) en el Sur en suelos ácidos (pH 4–5) (Dvorak y Donahue,1993) (Citado por Farjon y Styles, 1997). Generalmente se encuentra asociado con *Quercus*, *Platanus*, *Liquidambar*, *Fraxinus* y otros pinos como *Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *P. arizonica* var.*stormiae*; *P. cembroides* y otras gimnospermas como *Juniperus flaccida* en sitios secos; y a mayores alturas, con *Abies vejarii*, *Pseudotsuga mezesii* y *Cupressus lusitanica* (Farjon y Styles,1997).

4.1.4 Descripción botánica

La altura del árbol varía de 15 a 25 m, su tronco usualmente es recto, la corteza es áspera y con fisuras longitudinales y oscura en su etapa adulta; liso y café grisáceo en su etapa juvenil. Las ramas son largas, delgadas, extendidas, no pendulosas irregulares y ascendentes (Farjon y Styles, 1997).

La raíz es profunda y poco extendida, Hojas en fascículos de tres, usualmente rígidas, aserradas y de color verde claro brillante de 7 a 10 cm. de largo y con vainas persistentes, presentando estomas en todas las caras de las hojas (SEMARNAT, 1998).

Los frutos son conos ligeramente curvados de forma cónica, de color ocre de 10 a 11 cm, con abundantes semillas aladas de 6 a 7 mm de diámetro con alas de 20 mm de largo por 7 de ancho y engrosadas en la base (Martínez, 1992). Aparecen en árboles muy jóvenes en verticilos de 3 a 8 algunos más, en pedúnculos cortos, firmes y tenaces,

son sésiles, persistentes y serotinos (Farjon y Styles 1997; Martínez, 1992). Las escamas son duras y fuertes de 4 a 4.5 cm de largo por 1.5 cm. de ancho, con el umbo ensanchado, de contorno irregular y con la quilla transversal bien marcada. Las apófisis son desigualmente elevadas subpiramidales con el lado externo del cono y caso aplanadas en el lado interno; con la cúspide deprimida en cuyo centro se ve una punta corta y caediza, se abren en diferentes épocas (SEMARNAT, 1998).

4.1.5. Descripción macroscópica de la madera

Entre la albura y duramen no hay diferencia de color, la madera temprana presenta un color amarillo pálido mientras que la madera tardía lo presenta castaño muy pálido; no presenta olor ni sabor que la caracterice; brillo bajo, veteado pronunciado; textura gruesa; hilo recto. Sus anillos de crecimiento son bien definidos y de anchura heterogénea, presenta canales resiníferos (Pérez y Olvera, 1981)

4.1.6. Descripción microscópica de la madera

De acuerdo con Pérez y Olvera (1981) las traqueidas son largas, con diámetro tangencial del lumen mediano y grosor de la pared muy delgado en la madera temprana, y de diámetro tangencial del lumen fino y grosor de la pared delgado en la madera tardía; sus caras radiales presentan una hilera de punteaduras areoladas; los radios son homogéneos y poco numerosos.

4.1.7 Anillos de crecimiento

Los anillos de crecimiento son perfectamente bien delineados por una banda oscura de madera tardía y una banda clara de madera temprana, anchura heterogénea; la madera

temprana ocupa más de la mitad del total del anillo, la transición de madera temprana a tardía es abrupta (Perez y Olvera, 1981).

4.1.8 Usos de la madera

La madera de *Pinus greggii* se destina al aserrío en su mayor parte, aunque también se usa en durmientes, pilotes para minas, vigas y postes para cercas, muebles y leña para combustible (Eguiluz , 1978; Perez y Olvera , 1981).

4. 2. PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA

4. 2. 1. DENSIDAD BÁSICA

Densidad básica es el término usado para expresar la cantidad de sustancia madera que esta presente en una unidad de volumen de madera (Stanger *et al.*, 2002; Vignote y Jiménez, 1996; Zobel y Jett, 1995). La densidad es un número indeterminado por lo que es usualmente expresado como la relación del peso seco de la madera sobre el volumen verde y es medido en unidades de Kg m^{-3} o en g cm^{-3} (Stanger *et al.*, 2002).

La densidad es probablemente la variable más estudiada y es el indicador más usado para determinar la calidad de la madera (Dickson y Walter, 1997; Zhang, 1997). Esto debido a que ésta influye en otras propiedades de la madera como resistencia, trabajabilidad, propiedades de secado, rendimiento en el pulpaje, características del papel y en los usos finales que se le dará a la madera de cada especie en particular. Además ésta es una de las propiedades más baratas y más fácil de medir. (Fuentes,s/f)

Esta propiedad tiene ciertas variaciones que pasan a ser propias de cada especie; identificar todos los factores que influyen en éstas es muy complejo ya que son muy variados. Entre ellos podemos mencionar aquellos que se relacionan con las características del individuo (contenido de humedad, edad, altura, tasa de crecimiento y factores genéticos) y a aquellos ajenos al árbol (tratamientos silvícolas como: podas, aclareos, fertilización y características del sitio) (Bamber y Burley, 1983).

4. 2. 1. 1 Variación radial de la densidad básica

A cualquier altura dada del tronco de un árbol, la densidad de la madera puede variar considerablemente a lo largo del radio, esto es, de la médula a la corteza (Brown *et al.*, 1952). De acuerdo a Panshin y De Zeeuw (1980) existen tres patrones generales de comportamiento en los que la densidad básica varía en este sentido; pero solo dos de ellos prevalecen en coníferas de bosque templado, uno de ellos es donde la densidad básica aumenta de la médula hacia la corteza, presentándose en *Larix*, *Pinus* y a veces en *Picea*. El otro comportamiento es donde la densidad básica de la madera cercana a la medula decrece en formación temprana y luego incrementa hasta que los periodos maduros son alcanzados.

Investigaciones realizadas por Pearson y Gilmore (1980); Talbert y Jett (1981) y Moschler *et al.*(1989), respaldan lo anterior, con sus trabajos llevados a cabo en *Pinus taeda* donde encontraron que la densidad básica de la madera de plantaciones aumenta de la médula a la corteza tanto en madera juvenil como en madera madura. Pearson y Gilmore (1980) reportan que la densidad básica de la madera de un bosque

natural de *Pinus taeda* es de 0.58 g cm^{-3} para anillos cercanos a la medula y 0.63 g cm^{-3} para anillos externos. Así también encontraron para una plantación de la misma especie una densidad de 0.49 g cm^{-3} en anillos internos y 0.57 g cm^{-3} para anillos cercanos a la corteza. Sin embargo, esta relación de la densidad con la edad del árbol tiene bajo valor predictivo según Talbert y Jett (1981).

Por otro lado Xu-Youming *et al.* (1999) y Jiang *et al.* (1999) al evaluar la variación de la densidad básica de la madera de *Pinus taeda* encontraron que la densidad básica se incrementa de la médula hacia la corteza a cualquier altura del mismo. Xu-Youming *et al.* (1999) señalan que lo que contribuyó a esto fue la procedencia y el medio ambiente, y sugieren que tanto la genética como el sitio presentan efectos significativos sobre la densidad básica.

Barrios (2004), reporta que la variación de la densidad de *Pinus radiata* depende de su edad, incrementándose alrededor de los 10 – 15 anillos a partir de la médula de $0.32 - 0.4 \text{ g cm}^{-3}$. La variación en dirección radial suele decrecer al aumentar la altura de referencia en el fuste. Considerando la variabilidad entre árboles la densidad básica cambia significativamente inclusive si se considera un mismo sitio y esto se explica por la variación genética existente debido al alto porcentaje de heredabilidad atribuida a esta característica de la madera.

Resultados similares encontraron Borja *et al.* (2004) con madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* procedente de una plantación, en el sentido de que la densidad básica aumenta en función de la distancia de la médula hacia afuera. Al respecto, Dumail. *et al.*

(1998) señala que en *Pinus pinaster* existe un ligero incremento en la densidad básica cerca de la médula en árboles de 20 años de edad y entre el primero y treceavo anillo la densidad incrementa un 18.7% en promedio.

Goche *et al.* (2000) encontraron que la variación transversal de la densidad básica de *Abies religiosa*, aumenta en dirección de la médula hacia la periferia del árbol. Sin embargo, para *Pinus ayacahuite* no encontró el mismo patrón ya que en esta especie la densidad disminuye de la médula hacia la corteza. Esto se asemeja a lo reportado por Zuñiga y Valencia (1999) quienes evalúan la variación de la densidad básica en madera de *Pseudotsuga* de rodales naturales, encontrando un promedio de densidad de 0.485 g cm^{-3} ; por secciones los valores fueron de 0.490 g cm^{-3} (médula), 0.484 g cm^{-3} (centro) y 0.475 g cm^{-3} (corteza) por lo que se puede observar que la tendencia de los valores fue disminuir del centro a la periferia, encontrando diferencias estadísticas altamente significativas para las dos fuentes de variación (entre procedencias y entre árboles). Hay quienes afirman lo contrario como Seth *et al.* (1988) quienes reportan que la densidad básica del total de anillos no varía significativamente de la médula a la corteza en *Pinus wallichiana*.

Otras investigaciones comprueban que también se presenta el otro patrón de comportamiento, como en *Picea sitchensis* donde la densidad básica es alta en los anillo cercanos a la médula, decrece hasta la parte intermedia (entre 8 y 12 anillos) para después continuar aumentando en dirección de la corteza (Harvald y Olesen, 1987), esto concuerda con lo reportado por Petty *et al.* (1990) quienes encontraron un comportamiento similar en la densidad básica en *Picea sitchensis* y *Picea abies* de 48

años, ellos determinaron esta variación en varias alturas y distancia radial desde la médula encontrando que los patrones de variación radial de densidad básica fueron completamente similares en todas las alturas, observando los valores altos cerca de la médula disminuyendo hasta alcanzar un valor mínimo, para después incrementar en forma gradual. Lo anterior coincide con Kang – Chi Yang (2002) quien reporta que para *Picea glauca* el patrón radial que tiene la densidad básica es decrecer de la médula hacia fuera hasta el anillo 10 y luego incrementa lentamente hacia el cambium.

4. 2. 1. 2 Variación longitudinal de la densidad básica

Así como la densidad básica sigue patrones diferentes en el sentido radial también los tiene en sentido longitudinal (Brown *et al.*, 1952). Brunden (1964) estudió las diferencias que existen entre madera formada en el área de la copa viva y la madera formada bajo ésta y en particular las diferencias en magnitud de densidad básica y los cambios en la relación de esta variable con altura; encontró que la densidad básica de la madera formada abajo de la copa es significativamente más fuerte que la madera formada en la copa. La correlación de la densidad básica con altura difiere entre madera de la copa y madera del tronco. Esto indica que la densidad tiende a disminuir de la base hacia la copa del árbol. De la misma manera sucedió en un estudio realizado por Borja *et al.* (2004) con madera de *Pinus caribae* var. *hondurensis* procedente de una plantación.

Se ha encontrado que en plantaciones de *Pinus contorta* de 36 años los valores más altos se presentan en la parte basal del tronco (arriba de 0.40 g cm^{-3}) con un decremento gradual hacia la tercera parte o mitad de la altura del árbol y después otra vez mostrando un ligero incremento hacia arriba de las dos terceras partes del árbol

(Stephan y Liesebach ,1995). Por su parte Simpson y Denne (1997) al cuantificar los patrones de cambio en densidad básica dentro de árboles de *Picea sitchensis* encontró que la densidad incrementa con la altura en el árbol. Esto coincide con lo reportado por Zuñiga y Valencia (1999) en madera de *Pseudotsuga* proveniente de rodales naturales y Amarasekara y Denne, (2002) en la madera de *Pinus nigra* var. *Marítima* de 23 – 24 años, obtenida de una plantación.

4. 2. 2 ANCHO DE ANILLOS

En árboles de clima templado la madera formada al final de la estación de crecimiento difiere de la que se produce primero. En coníferas esta diferencia se debe a la producción de células con pared celular más gruesa y con dimensiones más pequeñas al final del año. Por consiguiente a la madera formada al principio de cada estación se determina como madera de primavera, o mejor dicho, madera temprana y la madera formada al final de cada estación es conocida como madera de verano, o preferentemente, madera tardía. En un corte transversal estos incrementos parecen una serie de círculos más o menos concéntricos alrededor de la médula, comúnmente nos referimos a ellos como anillos de crecimiento o anillos anuales, lo cual implica que cada anillo está formado durante un año. El ancho de cada uno de estos es característica propia de cada especie, además no siempre son todos del mismo tamaño ya que existe variación de la médula a la corteza (Jane *et al.*, 1970).

La variación que existe en el crecimiento de los anillos se debe a la tasa de crecimiento del árbol la cual esta influida por factores tanto climáticos como locales (sombra,

suplemento de agua, temperatura y condiciones del suelo) y esto a su vez se refleja en la densidad básica de la madera (Macdonald y Humbert, 2002).

4. 2. 2. 1 Relación entre el ancho de anillos y la densidad básica

Jain y Seth (1979) en su estudio sobre la variación de la densidad dentro de los anillos de crecimiento en *Pinus wallichiana* encontraron que en anillos normales la densidad básica incrementa casi linealmente a través del anillo, mostrando valores mínimos en la madera temprana y valores máximos en la madera tardía.

Así como existe variación en la densidad en un anillo en particular también esta se da en el conjunto de todos estos a través del radio, como lo señala Ishengoma *et al.* (1990) quienes al comparar las propiedades de madera juvenil y madera madura dentro de los mismos árboles de una plantación de *Pinus patula*, encontraron que la madera juvenil tiene una densidad básica más baja en comparación con la madera madura.

Otras investigaciones han demostrado que existe cierta variación entre la densidad básica y la tasa de crecimiento (ancho de anillos) y la edad, como la realizada por Seller (1962) en la que al estudiar la madera juvenil y madera madura de *Pinus elliottii* encontró que tasas de crecimiento lento conducen a densidades altas y que conforme el número de anillos de crecimiento se incrementa, la densidad básica también se incrementa. Dicha relación con la edad también la encontraron Talbert y Jett (1981), al evaluar las diferencias dentro de madera juvenil y madera madura en *Pinus taeda* proveniente de plantaciones; al respecto Seth *et al.* (1988) dicen haber encontrado una

relación significativa entre densidad básica y las variables independientes como edad, distancia desde la médula, ancho de anillos y tasa de crecimiento en *Pinus wallichiana*.

Petty *et al.* (1990), determinaron la variación del ancho de anillos con la altura y distancia radial desde la médula en *Picea sitchensis* y *Picea abies* de 48 años. La densidad a la altura del pecho tuvo una fuerte correlación inversa con el ancho de anillos en *P. sitchensis* pero débil en *P. abies*. Esta correlación negativa la han encontrado otros autores como Stephan y Liesebach (1995) en *Pinus contorta* en plantaciones de 36 años de edad; Simpson y Denne (1997) en *Picea sitchensis* y Dutilleul *et al.* (1998) en *Picea abies*, quienes encontraron la misma respuesta dentro de árboles de diferentes tasas de crecimiento ($r = -0.45$ rápido crecimiento, $r = -0.63$ lento crecimiento). Sin embargo entre árboles se observó una relación negativa entre ancho de anillos y densidad básica solo para *Picea abies* de lento crecimiento ($r = -0.42$). Por el contrario, la relación es totalmente inexistente en *Picea abies* de rápido crecimiento ($r = 0.00$). Esto sugiere que la relación entre el promedio de ancho de anillos y el promedio de la densidad de la madera depende de la velocidad de crecimiento del árbol.

Rozenberg *et al.* (2000), al evaluar la relación entre el volumen de crecimiento, la densidad básica y la variación genética en *Picea abies* y *Pseudotsuga menziesii*, encontraron una relación negativa para ambas especies, la misma proporción de variabilidad observada para la densidad de anillos puede ser explicada por las características de crecimiento y origen genético (54% y 57% respectivamente). En *Picea abies* la variable ancho de anillo explica en mayor grado la variación de la

densidad básica, mientras que en *Pseudotsuga menziesii*, esta variación es atribuida a factores genéticos.

Hay quienes difieren en que exista dicha relación como Pearson y Ross (1984); y Koga y Zhang (2002) que al estudiar la madera de *Abies balsamea* no encontraron correlación entre ancho de anillos y densidad básica ni en madera juvenil ni en madera madura, aunque se observó que una débil correlación negativa tiende a ser más fuerte en madera madura por lo que mencionan que dicha relación en esta especie puede variar con la edad cambial.

4.2.2.2 Variación radial en ancho de anillos

Respecto al patrón que sigue el ancho de anillos de la médula a la corteza se ha encontrado que este generalmente tiende a decrecer de la médula en dirección hacia la corteza, como lo confirma Simpson y Denne (1997) en *Picea sitchensis*; Amarasekara y Denne (2002) en *Pinus nigra* var. *Marítima* de 23 – 24 años, de una plantación, en árboles dominantes, codominantes y suprimidos.

Sin embargo se ha comprobado que este patrón de ancho de anillos no se cumple en todos los casos ya que DeBell *et al.*(1994) al analizar el ancho de anillos, reportan que el promedio de ancho de anillos incrementa de 2 a 8 mm a partir de la médula a la corteza en *Tsuga heterophylla* o como la tendencia que encontró Kang – Chi Yang (2002) para *Picea glauca* en este caso la tasa de crecimiento incrementa de la médula a cierto número de anillos y entonces decrece del 17 al anillo 22 dependiendo del espaciamiento, en general la tasa de crecimiento anual al 1.8 m x 1.8 m, 2.7 m x 2.7 m

y 3.6 m x 3.6 m fue de 2.49 mm, 3.75 y 3.92 mm respectivamente. A pesar de esto existen autores que consideran que el ancho de anillos puede ser un indicador significativo de la densidad básica como lo señala Lindström (1996) y Dutilleul *et al.* (1998) para *Picea abies*

4. 2. 3. RELACIÓN ENTRE DENSIDAD BÁSICA Y PORCENTAJE DE MADERA TARDÍA

La variación de la densidad básica a lo largo de un radio, es ocasionada por las fluctuaciones en la velocidad de crecimiento, así como el porcentaje de madera de primavera y madera de verano presente (Deresse, 1998).

Dentro de cada anillo de crecimiento existe variación entre la densidad de la madera temprana y la densidad de la madera tardía. La madera tardía está compuesta de células con diámetro radial relativamente pequeño, pared gruesa y un lumen pequeño, lo que ocasiona que se presente una densidad más alta con relación a la madera temprana, la cual tienen paredes celulares delgadas y lumen amplio (Haygreen y Bowyer, 1996).

El porcentaje de madera tardía es una de las características más ampliamente estudiadas para determinar la calidad de la madera ya que proporciona un índice de fuerza y propiedades estructurales y esta altamente correlacionado con la densidad básica (Techline, 2005). Sin embargo de acuerdo a investigaciones realizadas se ha llegado a la conclusión de que el factor primario que influye en la densidad, es el ancho de la madera temprana dentro de cualquier anillo de crecimiento (O' Sullivan, 1976). En

especies como *Pinus taeda*, un incremento en densidad básica esta fuertemente asociado con un incremento en la proporción de madera tardía, por otro lado, se observa una relación cerrada entre el porcentaje de madera tardía y densidad básica para varias especies de coníferas como *Pinus sylvestris*, *Pinus strobus* y *Abies balsamea*. Sin embargo, la correlación entre el porcentaje de madera tardía y densidad básica parece variar entre especies, (Kollman y Côté, 1968).

Warren (1979) encontró que la varianza en peso y la covarianza de los componentes de la densidad básica (proporción de madera tardía y madera temprana y sus respectivas densidades) muestran que la magnitud en diferencias de madera temprana a madera tardía tienen una importancia significativa en la explicación para la variación de la densidad básica, lo que concuerda con lo reportado por Smith (1956), quien utilizó un modelo de regresión múltiple para explicar la variación de la densidad básica en *Pseudotsuga menziesii*

Peterson (1968) encontró en 10 procedencias de *Pinus resinosa* que la densidad básica de la madera juvenil fue influenciada principalmente por el cambio en el grosor de pared celular y ancho de lumen, mientras que la densidad básica de la madera madura parece estar fuertemente asociada con el porcentaje de madera tardía, coincidiendo con Shottafer *et al.* (1972) quienes también encuentran una fuerte relación entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía para el crecimiento de una plantación de *Pinus resinosa*. Por otro lado, Ward (1975) y Elliot (1970), mencionan que cualquier incremento en la proporción de madera tardía inevitablemente conduce a incrementar la densidad básica en todos los anillos.

En coníferas la madera de rápido crecimiento, con un alto porcentaje de madera temprana y por lo tanto baja densidad básica, es frecuentemente formada cerca de la médula. La tasa de crecimiento decrece a causa de muchas condiciones de desarrollo en el rodal, la densidad tiende a incrementar, ocasionando que los árboles tengan mayor vigor; por otra parte, en árboles sobremaduros la densidad básica puede otra vez decrecer hacia la corteza. Por esta razón en árboles de coníferas viejos, la densidad de la madera más alta es comúnmente encontrada en la zona intermedia, la madera más ligera cercana al centro del árbol mientras que la densidad en la zona exterior va de baja a alta (Brown *et al.*, 1952).

Haygreen y Bowyer (1996) encuentran densidades bajas en *Picea abies* en la zona cercana a la médula, hasta aproximadamente 12 anillos, concluyendo que la densidad básica en la zona cercana a la médula es baja debido a que hay relativamente poca madera tardía y una alta proporción de madera temprana.

Donaldson *et al.* (1995) encontraron que la densidad de anillos de *Pinus radiata* cambia de aproximadamente 10 anillos hacia fuera, con incrementos en ambas densidades (madera temprana y madera tardía), también muestran un incremento en la cantidad de madera tardía, en dirección a la corteza.

4. 2. 4 RELACIÓN ENTRE DENSIDAD BÁSICA Y CONTRACCIONES

La madera durante su vida útil sufre cambios dimensionales, aumento o disminución causados por las variaciones de la humedad relativa del medio ambiente (Bárcenas y Dávalos, 1999; Cruz, 2002). Estos cambios de dimensiones se originan en su interior

debido a que la madera esta formada por polímeros que contienen grupos hidroxilos y otros grupos funcionales con oxigeno que atraen a la humedad a través de puentes de hidrógeno (Bárcenas y Dávalos, 1999).

Estos cambios de dimensión se presentan cuando las paredes celulares de la madera empiezan a perder el agua presente en ellas (Punto de saturación de la fibra, PSF), sufriendo también cambios en las propiedades mecánicas de la madera (Bárcenas y Dávalos, 1999; Cruz, 2002). Cuando las células de la superficie de la madera se seca abajo del PSF (aprox. 30%) la pared celular se contrae y se considera que esta contracción es directamente proporcional a la cantidad de humedad que se pierde abajo del 30%. Normalmente la contracción es expresada como un porcentaje de las dimensiones en estado "verde" (arriba del 30%), (Cruz, 2002).

No todas las especies de madera se contraen en la misma magnitud ante los cambios de contenido de humedad. Esta proporción depende de factores como: densidad básica, contenido de extractivos, dimensiones de los anillos de crecimiento, porcentaje de madera temprana y porcentaje de madera tardía, presencia de madera juvenil, velocidad de crecimiento de los árboles, entre otros (Bárcenas y Dávalos, 1999).

La densidad especialmente es un factor que afecta los cambios dimensionales (Walker, 1993; Bárcenas y Dávalos, 1999) el grosor de las paredes celulares asociadas con densidades más altas absorben más agua, resultando contracciones e hinchamientos y por lo tanto mayor movimiento de la madera cuando esta en servicio. Además madera

más densa contiene más agua en las paredes celulares, pero el secado es más largo y por lo tanto el costo de la operación de este aumenta (Macdonald y Humbert, 2002).

Debido a lo anterior se han realizado trabajos para analizar los cambios dimensionales que se presentan en la madera así como el efecto de éstos en ella., Wiedenbeck *et al.* (1990), determinaron que la densidad básica es el factor más importante que afecta las contracciones volumétricas en *Pinus contorta* encontrando una correlación positiva, coincidiendo con Bárcenas y Dávalos (1999), quienes señalan que la densidad es un factor de primera importancia, reportando que especies más densas presentan mayor valor de contracción como consecuencia lógica de su mayor masa presente por unidad de volumen.

Por su parte Goche y colaboradores (2000) encontraron que las contracciones volumétricas de *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite* tienden a disminuir en sentido transversal a partir de la corteza en dirección a la médula en todas las alturas, y en dirección longitudinal presentaron la tendencia de disminuir con la altura en el árbol. Atribuyendo este comportamiento a la densidad básica. Reportan valores promedios de 16.33% para *Abies religiosa* y una media de 12.59% para *Pinus ayacahuite*.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5. 1. DESCRIPCIÓN DE LAS AREAS DE ESTUDIO

5. 1. 1 Municipio de Metztlán

La plantación se encuentra en el ejido “Fontezuelas” ubicado al Noroeste de la ciudad de Metztlán, sus coordenadas corresponden a 20° 29' 43' de latitud Norte y 98° 53' 26" de Longitud Oeste y a una altitud de 2298 msnm (Figura 1). Pertenece a la providencia Sierra Madre y a la subprovincia Carso Huasteco. La topografía del ejido esta formada por montañas altas con constantes cantiles verticales y cañones profundos, así como de pequeños cerros redondeados (Razo, 2001).

Pertenece a la Región Hidrológica RH26 del Río Pánuco, la Cuenca Hidrográfica Río Moctezuma y la Subcuenca del Río Amajac. Cuenta con numerosos arroyos temporales que nacen en las partes altas formando un tipo de drenaje dendrítico. Siendo los principales el Teconco y el Mingo mismos que al unirse en la parte baja forman el arroyo Molanguito que se conecta directamente con el Río Amajac (Razo, 2001).

Según la clasificación de García (1987) el clima que predomina en la región es del tipo BS1 Kw1 (semiseco templado con lluvias en verano). El porcentaje de precipitación invernal oscila entre 5 y 10 mm.

La geología de los terrenos del ejido está representada por la unidad Ki (cz) que está constituida por rocas calcáreas marinas de color gris claro del cretácico inferior, la

predregosidad es muy abundante en estos terrenos y predominan las masas compactas de caliche (Razo, 2001).

Los suelos que predominan en el área son de tipo *Regosol* y solo en las áreas de chaparrales de encino y pino piñonero se encuentran suelos de tipo *Feozem*, la textura de ambos sustratos es media (Razo, 2001).

El Matorral xerófilo es el tipo de vegetación que predomina en la mayor parte de los terrenos del ejido cubriendo un poco más del 50% de la superficie. Dependiendo de la exposición del terreno la vegetación se manifiesta con cierto grado de abundancia (Razo, 2001).

5. 1. 2 Municipio de Acaxochitlán

La plantación se localiza en una propiedad privada del Barrio de Cuaunepantla perteneciente al municipio de Acaxochitlán (Figura 1).

De acuerdo a la clasificación de las Provincias Fisiográficas hecha por Raisz (1964)(citado por INEGI, 1999), el sitio de estudio queda comprendido dentro de la Provincia Fisiográfica del Eje Neovolcánico y la subprovincia Llanuras y Sierras de Querétaro e Hidalgo, presentando una topografía compuesta por lomeríos de colinas redondeadas.

Se ubica en la región Hidrológica 26 del Río Panuco, en la Cuenca Hidrográfica Río Moctezuma y la Subcuenca del Río Tulancingo.

El clima es templado subhúmedo con lluvias de verano; presentando una temperatura media anual de 14.5 °C, con una máxima de 21.2 °C y una mínima de 3.8 °C. (García, 1987). La precipitación media anual es de 1200 mm (INEGI, 1992).

En el sitio predominan las rocas de origen volcánico (ígneas extrusivas) del terciario superior, el color de estas varia de gris claro a negro en fresco y es pardo rojizo al intemperismo. Lo anterior esta representado por la unidad Ts (B), en esta se identifican basaltos de olivino, piroxenos y andesíticos (INEGI, 1992).

Predominan suelos ácidos como los *Luvisoles cromicos* aunque también hacen presencia en menor proporción los *Andosoles ocricos*. Muestran un horizonte A de aproximadamente 19 cm de espesor y de textura fina. Estos suelos son de color pardo rojizo oscuro en húmedo. En general los suelos de la zona son suelos pobres en materia orgánica (Fassbender y Bornemisza, 1987) (citado por INEGI, 1992).

El principal tipo de vegetación que se encuentra en el área es el bosque de pino – encino constituido principalmente por especies como *Pinus patula*, *P. teocote*, *P. leiophylla* y *Quercus spp.* (INEGI, 1992).

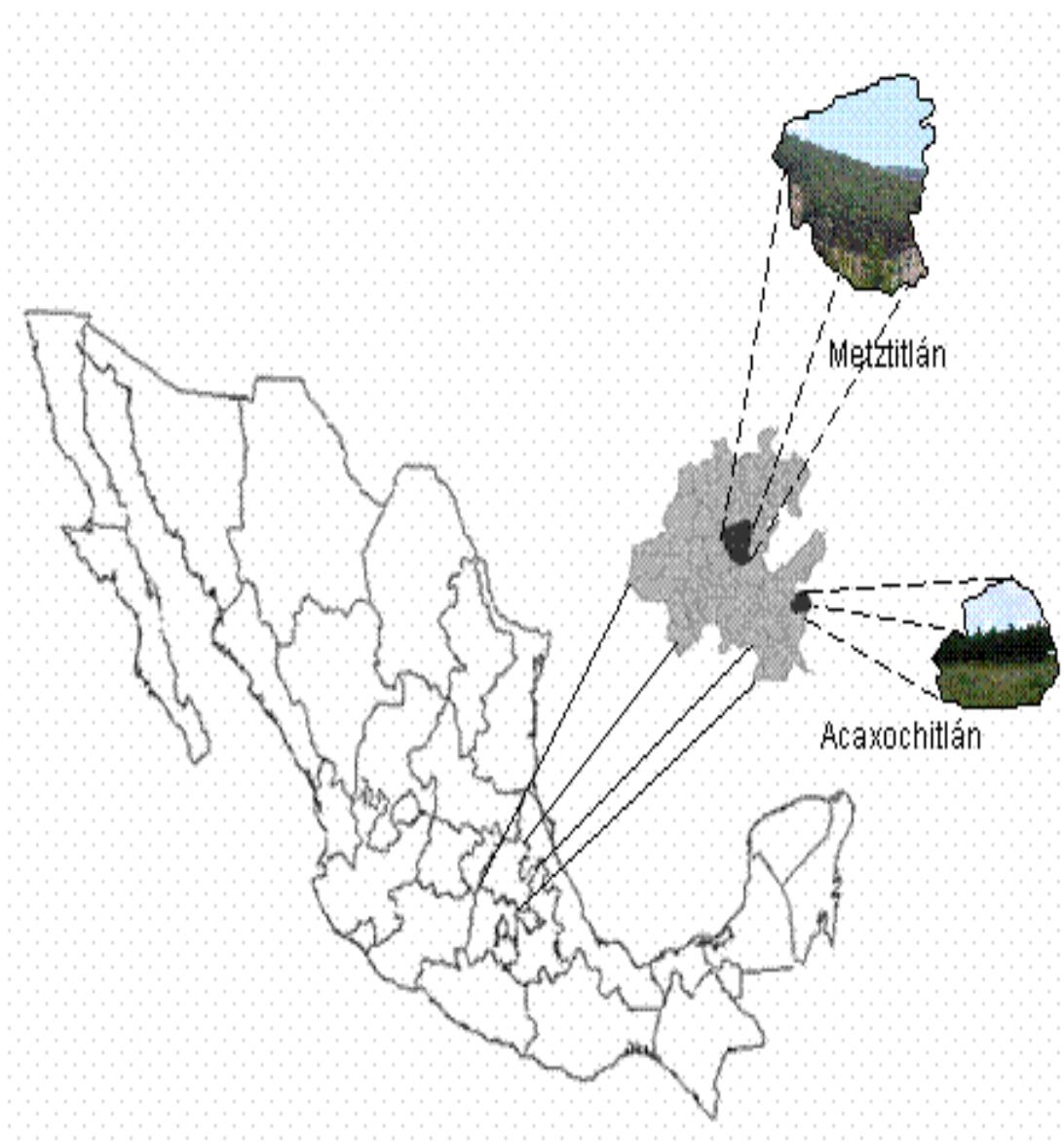


Figura 1. Municipios donde se ubican las plantaciones de las cuales fueron extraídas las muestras.

5. 2 FASE DE CAMPO

5. 2. 1 Lugar de colecta

Las muestras se colectaron en dos plantaciones de *Pinus greggii* de 17 y 4 años de edad, localizadas en los Municipios de Acaxochitlán y Meztlán en el estado de Hidalgo. En la plantación de Fontezuelas y Acaxochitlán se delimitaron áreas de 2500 m² y 252 m² respectivamente, donde se aplicaron los aclareos. De los árboles aclareados se colectaron rodajas de 12 y 10 árboles, de diferentes alturas y categorías diamétricas (Cuadro 1). En la plantación de Fontezuelas se tomaron dos rodajas por árbol una a 30 cm de altura y la otra a 1.30 m (Figura 2). En la plantación de Acaxochitlán sólo se tomaron muestras a 1.30 m de altura. El material se obtuvo en rodajas de 5 cm de grosor. Cada rodaja se colocó en bolsas de plástico, para evitar la pérdida de humedad durante el transporte al laboratorio de Anatomía y Tecnología de la Madera del Centro de Investigaciones Forestales de la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo ubicado en Tulancingo.

Cuadro 1 Características dasométricas promedio para cada una de las plantaciones estudiadas.

CARACTERISTICA DASOMETRICA	PLANTACION	
	Acaxochitlán	Metztlán
Diametro promedio	4.54	13.27
Altura promedio	3.79	10.07
Espaciamiento inicial	1 X 1	2.5 X 2.5
Área basal	16.18	149.47
Densidad en el momento del aclareo (arb/ha).	9480	1600



Figura 2. Colecta de las muestras de madera de la plantación de Meztlán, Hidalgo.

5. 3 FASE DE LABORATORIO

5. 3. 1 Elaboración de las probetas

En cada una de las rodajas se marcaron las probetas a utilizar en la determinación de las propiedades a evaluar, obteniéndose de cada rodaja dos tiras de 2.5 cm de ancho de Norte a Sur pasando por la médula de cada una (Figura 3 y 4). Posteriormente una probeta de cada rodaja se seccionó por anillos de crecimiento y de esta manera se determinó la densidad básica por anillo individual (Figura 5), la otra probeta se lijó perfectamente para poder determinar el ancho de los anillos

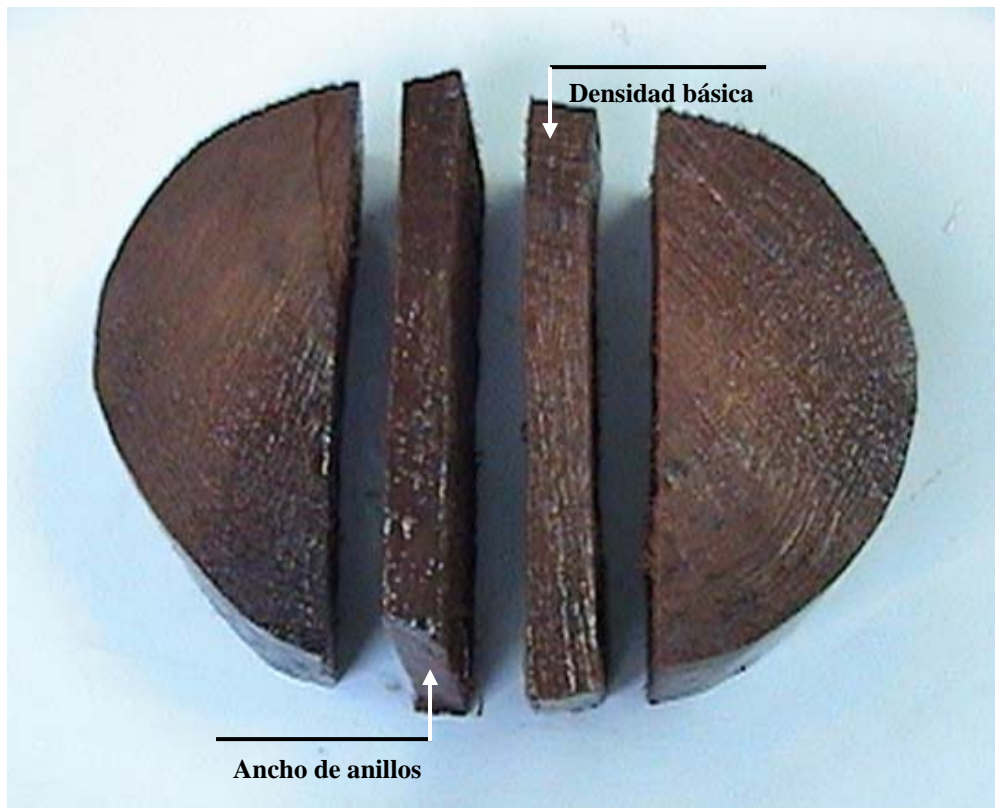


Figura 3. Preparación de las probetas utilizadas para determinar la densidad básica y el ancho de anillos.



Figura 4. Ejemplo de una de las probetas utilizadas en la obtención del ancho de anillos.



Figura 5 Anillos de crecimiento obtenidos al ser seccionadas las probetas.

5. 3. 2 Medición del ancho de anillos de crecimiento

El ancho de cada uno de los anillos de crecimiento se determinó con la ayuda de un medidor de incrementos con aproximaciones de milésimas, a través del cual se midió el ancho de la banda de la madera temprana y el ancho de cada anillo de crecimiento, posteriormente por diferencia se calculó el ancho de la banda de la madera tardía.

5. 3. 3 Cálculo del porcentaje de madera tardía

El porcentaje de madera tardía se determinó mediante la fórmula que se presenta a continuación:

$$\% \text{ MT} = \frac{\text{BMT}}{\text{AA}} * 100$$

Donde:

%MT = Porcentaje de madera tardía

BMT = Ancho de la banda de madera tardía (mm).

AA = Ancho total del anillo (mm).

5. 3 4 Cálculo de la Densidad básica

Para estimar la densidad básica primeramente se obtuvo el peso anhidro, para lo cual se colocaron cada uno de los anillos en una estufa de secado a una temperatura de $100^{\circ}\text{C} \pm 3$ por un tiempo de 24 horas (Figura 6). Una vez secas se pesaron en una balanza analítica con precisión de 0.0001 g. (Figura 7). El volumen se determinó mediante la técnica de desplazamiento de fluidos, que consiste en pesar un volumen de agua, tomar el dato e introducir la pieza de madera y volver a toma otra lectura, y por diferencia de pesos obtener el volumen de la pieza de madera, en estado verde (Figura 8). Con estos datos y aplicando la formula presentada por Kollman (1959), mostrada a continuación, se calculó la densidad básica de la madera:

$$\text{DB} = P_o/V_v$$

Donde:

DB = densidad básica (g cm^{-3})

P_o = Peso anhidro (g)

V_v = volumen verde (cm^{-3})



Figura 6. Estufa en la que se realizó el secado de los anillos.



Figura 7. Determinación del peso de cada anillo en estado verde



Figura 8. Determinación del volumen mediante el método de desplazamiento de fluidos.

5. 3. 5 Contracciones volumétricas

La estimación de las contracciones volumétricas se realizó bajo la metodología siguiente: se obtuvieron las probetas de la segunda sección mostrada en la figura 3, separándose por anillos de crecimiento; a cada una de éstas se les tomó el volumen inicial en estado verde y el volumen final en estado anhidro mediante una balanza analítica con precisión de 0.0001 g. Para el estado anhidro las probetas se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de $100\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3$ por un tiempo de 24 horas.

Para el cálculo de las contracciones volumétricas se utilizó la fórmula siguiente:

$$\beta_v = \frac{V_v - V_o}{V_v} 100$$

Donde:

β_v = Contracción volumétrica total (%)

V_v = Volumen verde (cm³)

V_o = Volumen anhidro (cm³)

El volumen se obtuvo mediante la técnica de desplazamiento de fluidos.

5. 4 ANALISIS ESTADÍSTICO

Los resultados se analizaron mediante técnicas estadísticas, utilizando el procedimiento PROC GLM del sistema SAS (SAS Institute Inc., 1999), realizando análisis de varianza y prueba de medias de Tukey, con la finalidad de conocer la variación presentada entre árboles y dentro de los árboles. Se realizó una prueba de correlaciones para observar la relación que existe entre cada una de las variables estudiadas.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6. 1 PLANTACIÓN UBICADA EN EL MUNICIPIO DE METZTITLÁN

6. 1. 1 Densidad Básica

Los resultados encontrados muestran que el valor de la densidad básica de la madera presenta una ligera tendencia de aumentar de la médula hacia el exterior del árbol. (Figura 9), presentando un promedio de 0.394 g cm^{-3} . Al analizar los valores encontrados en las dos alturas estudiadas, DN (altura al diámetro normal) y BASE (altura a 30 cm a partir de la base del árbol), se observó que el valor de esta variable tiende a aumentar de 0.384 g cm^{-3} (base) a 0.404 g cm^{-3} (diámetro normal), y de acuerdo a la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) la diferencia entre estos valores es significativa. Por otra parte el análisis de varianza indica que todas las fuentes de variación (altura, árbol y la posición del anillo) influyen de manera significativa en la densidad básica de la madera ($\text{Pr} > \text{F} = 0.0001$) en las dos alturas estudiadas.

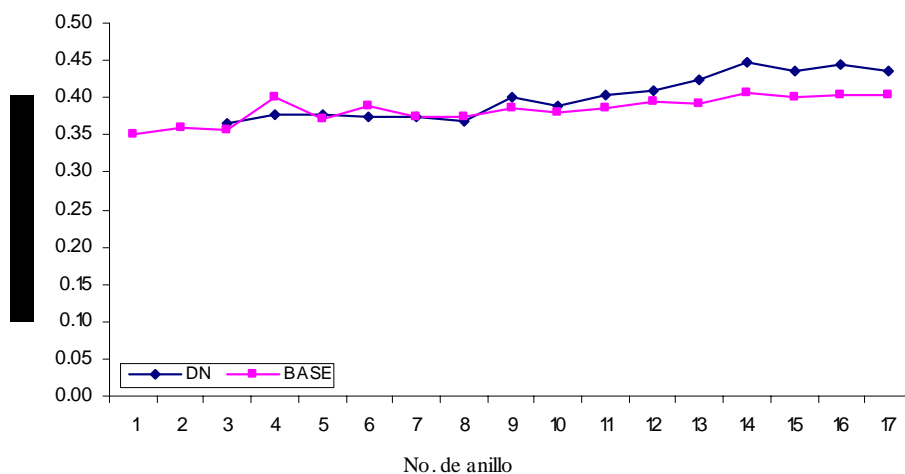


Figura 9. Variación de la densidad básica de la médula a la corteza, cada valor representa la media de 12 mediciones. DN (altura al diámetro normal), BASE (altura a 30 cm a partir de la base del árbol).

De acuerdo a Panshin y de Zeeuw (1980) la variación de densidad básica en relación a la edad se categoriza en tres patrones generales de comportamiento, de los cuales dos son más prevalecientes en coníferas de clima templado. Con base a los resultados encontrados, la densidad básica presentó el patrón de comportamiento I el cual señala que la media de la densidad básica incrementa de la médula hacia la corteza (Figura 9), coincidiendo con lo reportado por XU – Youming *et al.* (1999) en *Pinus taeda*; Jovanovski *et al.* (2002) en *Pinus ponderosa* y Barrios (2004) para *Pinus radiata*. Este último menciona que la densidad tiende a aumentar con la edad y esto es muy común en los primeros 15 años (va de 0.36 g cm^{-3} a 0.45 g cm^{-3}) para luego estabilizarse y él atribuye esto al aumento en la proporción de la madera tardía. Este patrón de variación radial sucedió de manera similar en las dos alturas estudiadas, lo que concuerda con Petty *et al.* (1990) en *Picea sitchensis* y *P. abies*. y Jiang – Jing Min *et al.* (1999) en *Pinus taeda*.

El que todas las fuentes de variación (altura, árbol, y la posición del anillo) influyan de manera significativa en la densidad básica, se podría explicar por las características de crecimiento y el origen genético, coincidiendo lo anterior con Rozenberg *et al.* (2000) para *Picea abies* y *Pseudotsuga menziesii*. Barrios (2004) señala que la variabilidad de la densidad entre árboles de *Pinus radiata* cambia incluso en un mismo sitio y él lo atribuye a la variación genética existente debido al alto porcentaje de heredabilidad atribuida a esta característica. Esto es similar a lo encontrado por Talbert y Jett (1981) quienes manifiestan que estadísticamente la densidad básica se relaciona con la edad del árbol en la madera de *Pinus taeda* de una plantación; por su parte Seller (1962)

encontró una fuerte correlación entre la edad de los árboles, el ancho de los anillos de crecimiento y la densidad básica en *Pinus ellioti*.

En este estudio la diferencia de densidad entre ambas alturas fue estadísticamente diferente al ser analizados con la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) y aumentó con la altura. Esto fue diferente a lo reportado en investigaciones donde se ha encontrado un decremento gradual de esta variación a partir de la base (Borja *et al.*, 2004; Barrios, 2004; Stephan y Liesebach, 1995 y Carrant, 1939). Sin embargo no se puede aplicar este patrón en esta investigación ya que solo se muestrearon los árboles a dos alturas por lo que faltaría analizar más alturas a lo largo del fuste, para poder observar un patrón de variación.

El valor promedio de densidad estimado al diámetro normal (1.30 m) en la presente investigación (0.404 g cm^{-3}) es similar al encontrado por Valencia *et al.* (1993), quienes reportan valores de 0.40 g cm^{-3} a 0.47 g cm^{-3} para una plantación joven de *Pinus greggii* establecida en el Estado de México, coincidiendo con Valencia y Vargas (1997) quienes encontraron un valor promedio de 0.418 g cm^{-3} para la madera de una plantación de 17 años de la misma especie en el Estado de México.

El valor encontrado en este estudio parece ser ligeramente inferior en comparación con lo reportado por Murillo (1988), quien encontró una densidad de 0.45 g cm^{-3} y 0.46 g cm^{-3} para la madera de procedencias del estado de Hidalgo y de Querétaro, respectivamente. Por su parte López y Valencia (2001) reportan un promedio de densidad de 0.47 g cm^{-3} para la madera de *Pinus greggii* del norte de México. Cabe

señalar que estos promedios fueron obtenidos en poblaciones naturales y a la altura de 1.30 m. Es probable que estas diferencias se deban a la procedencia, pues se sabe que las poblaciones de *Pinus greggii* del centro del país tienen una tasa de crecimiento mayor que las del norte (López Upton y Donahue, 1995). Por otra parte, otras investigaciones muestran que en la mayoría de los casos la madera proveniente de rodales naturales tiene densidades más altas que las de madera de plantaciones (Pearson y Gilmore ,1980; Johansson y Persson, 1997). Xu – Youming *et al.* (1999), encontraron una respuesta similar en la densidad básica de *Pinus taeda* de 13 años, y al igual que Stanger (2002) sugieren que tanto la parte genética como el sitio tienen de igual forma efectos significativos en la densidad básica.

Tomando en cuenta los valores promedios de la densidad básica encontrados en este estudio, la madera de *Pinus greggii* se puede clasificar como muy ligera de acuerdo a la tabla de clasificación presentada por Vignote y Jiménez (1996). Frecuentemente el uso que se le da a la madera de esta especie es para aserrío, aunque también se utiliza para durmientes, pilotes para minas, vigas y postes para cercas, muebles y leña para combustible (Eguiluz, 1978; Pérez y Olvera, 1981). Cabe mencionar que estos usos son recomendados para madera proveniente de rodales naturales y de edades avanzadas, además estos autores no especifican con base en que características recomiendan dichos usos. De acuerdo a la densidad básica encontrada, a la categoría en que se encuentra esta madera y las dimensiones de las trozas, especialmente en diámetro., el uso recomendado para esta especie a esta edad es para cajas de embalaje y empaque de acuerdo a la clasificación presentada por Manrique y Plumptre (1994).

6. 1. 2 ANCHO DE ANILLOS

Los resultados encontrados respecto al ancho de los anillos indican que el patrón general tiende a disminuir de la médula a la corteza (Figura 10).

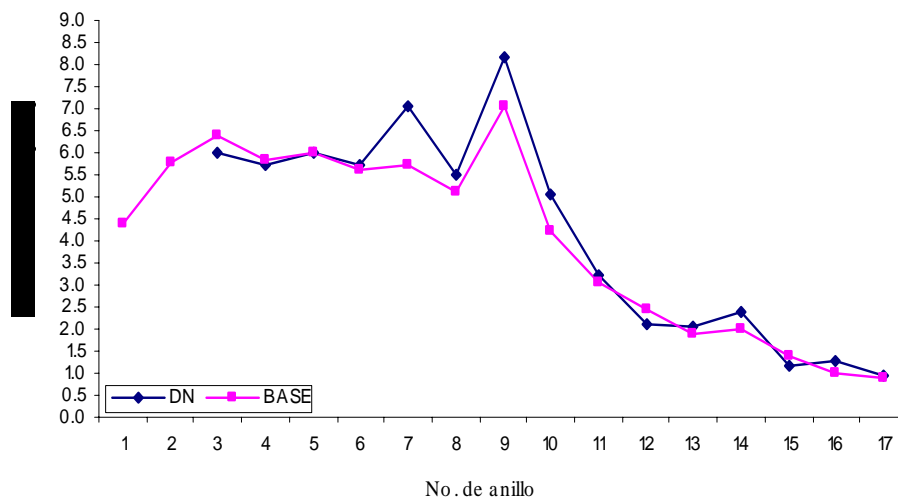


Figura 10. Variación del ancho de anillos de la médula a la corteza a dos alturas del árbol, cada valor representa la media de 12 mediciones. DN (altura al diámetro normal), BASE (altura a 30cm a partir de la base del árbol).

Al analizar las fuentes de variación se pudo observar que solo el árbol y la posición del anillo dentro del árbol influyen de manera directa sobre el ancho del anillo tal como lo muestra el análisis de varianza con un $Pr > F = 0.0001$ (Cuadro 2); así mismo se encontró un promedio de ancho de anillos de 4.06 mm, y de acuerdo a la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) no existen diferencias estadísticamente significativas, entre las dos alturas estudiadas (base = 4.003 mm y diámetro normal = 4.1355 mm).

Cuadro 2. Prueba de F del análisis de varianza para la densidad básica y ancho de anillos

Fuente de variación	Grados de libertad	F calculada	
		Densidad básica	Ancho de anillos
Altura	1	26.66**	2.87*
Árbol	12	9.32**	9.20**
Posición del Anillo	18	5.43**	22.58**

*, ** Diferencias significativas al 0.05 y 0.01 de probabilidad respectivamente.

El comportamiento de la variación del ancho de anillos de crecimiento de los árboles muestreados en el sentido radial mantuvo una tendencia más o menos estable en los primeros anillos, teniendo un valor promedio de 6.61 mm y posteriormente disminuye en dirección hacia la corteza hasta llegar a un valor de 0.95 mm, esta tendencia es similar para ambas alturas (Figura 10 y cuadro 3). Lo anterior, coincide con lo reportado por Simpson y Denne (1997) en *Picea sitchensis*, y Borja *et al.* (2004) en *Pinus caribaea*, quienes obtuvieron la misma tendencia para la madera proveniente de plantaciones de dichas especies. Por su parte Simpson y Denne (1997) asocian esta respuesta con un incremento en la competencia entre los árboles para el tiempo en que fueron muestreados.

Al hacer la correlación entre el ancho de anillos y el porcentaje de madera temprana se encontró un coeficiente de correlación de $r = 0.50317$, lo cual quiere decir que este valor tiene una fuerte influencia en el ancho de cada anillo; dicho valor depende de la tasa de crecimiento anual de cada árbol (Kolman y Côté, 1968).

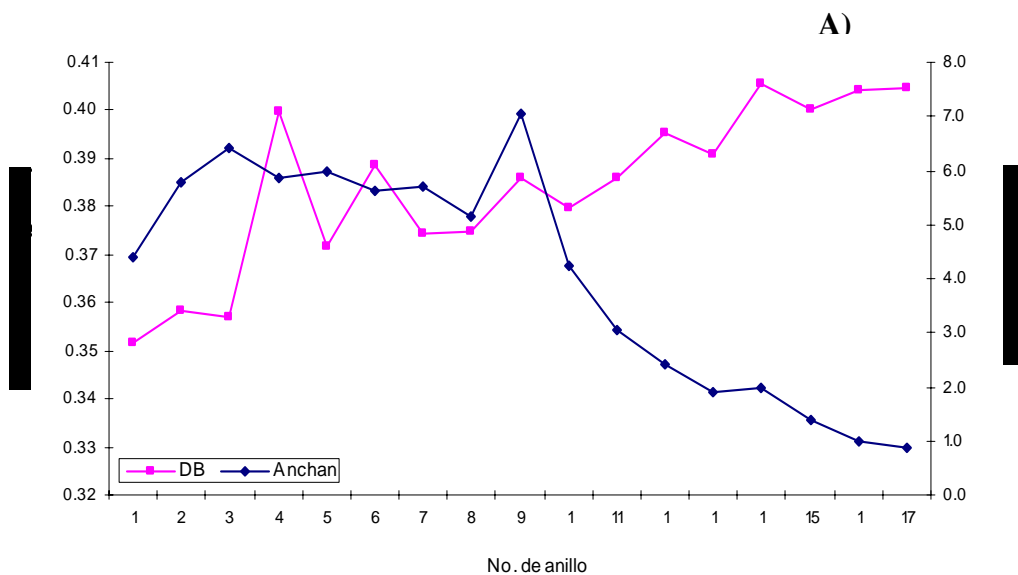
La tasa de crecimiento de los árboles decrece a causa de muchas condiciones de desarrollo en el rodal (Brown *et al.*, 1952) como por ejemplo las condiciones del lugar en el que se estableció la plantación, pues el crecimiento depende en parte de la profundidad del suelo y esto se refleja en la variación del ancho de anillos (Rigling *et al.*, 2001). Sin embargo, existen otros factores que pueden influir en el ancho de los anillos, estos son factores locales como la competencia por luz, el suplemento de agua y temperatura los cuales forman parte del ambiente inmediato de cada árbol en particular (Jane, 1970). A esta edad la competencia es mayor entre los árboles, por lo tanto este decremento en el ancho de anillos nos puede indicar el momento en el cual el rodal requiere un aclareo. El procedimiento de aclareo ha resultado ser un indicador significativo del incremento en el ancho de anillos ($r^2 = 0.95$) (Linstrom, 1996) y como consecuencia acelera el incremento en volumen y en diámetro (Koga *et al.*, 2002; Xu – Yuo Ming *et al.*, 2002) y sobretodo si es un sitio en calidad de estación baja (Goche *et al.*, 2003).

En el caso de esta investigación no podemos atribuirlo a la calidad de sitio ya que como se pudo observar, en los primeros 3 años de crecimiento de los árboles presentan incrementos altos, en los siguientes 6 años estos se mantienen constantes y a partir de los 10 tienden a decrecer por lo que este comportamiento puede deberse a una alta densidad presente en la plantación (2500 árboles / ha) hasta la edad de 17 años la cual ocasiona la competencia por nutrimentos y luz entre los árboles. Por lo tanto se puede decir que a partir de los 9 años los árboles de *Pinus greggii* que viven en estas condiciones necesitan un aclareo si es que se requiere que estos aumenten su diámetro y que los árboles remanentes sigan vivos.

6. 1. 3 CORRELACIÓN ENTRE ANCHO DE ANILLOS Y DENSIDAD BÁSICA

De acuerdo a los resultados encontrados en esta investigación al correlacionar el ancho de anillos y la densidad básica se obtuvo un coeficiente de correlación de $r = -0.17034$, y aunque esto indica que existe una pobre correlación entre ambas variables la correlación es significativa y presenta una relación inversamente proporcional entre el ancho de los anillos de crecimiento y la densidad básica de la madera de *Pinus greggii* a medida que el ancho de anillo disminuye de la médula hacia fuera la densidad básica aumenta en el mismo sentido, esta relación se presentó en las dos alturas estudiadas (Figura 11).

Lo anterior, coincide con Seller 1962 y DeBell *et al.*, 1994 quienes señalan que las tasas de crecimiento lento conducen a densidades altas, esto coincide también con Pearson y Gilmore (1980) los cuales afirman haber encontrado la misma relación en muestras tomadas a la altura del pecho en *Pinus taeda*.



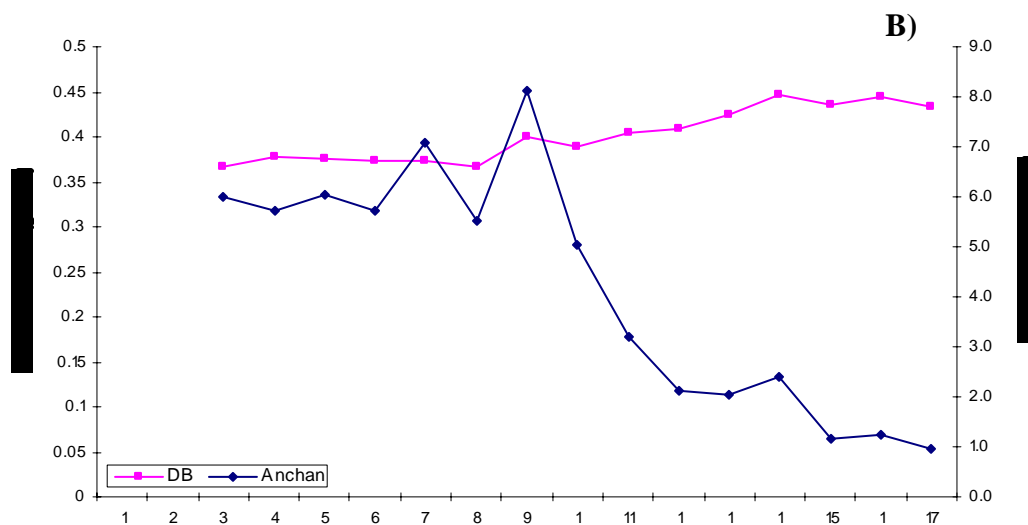


Figura 11. Gráficas de comparación entre el ancho de los anillos de crecimiento y la densidad básica A) base B) diámetro normal. Cada valor representa la media de 12 mediciones. Anchan (ancho de anillos), DB (densidad básica).

Los valores promedios de la variación de los dos parámetros estudiados (Cuadro 3) son contrarios a los reportados por DeBell *et al.*, (1994) quienes encontraron que los valores de la densidad disminuyen de 0.47 a 0.37 g cm⁻³ y por el contrario el ancho de anillos incrementa de 2 a 8 mm para *Tsuga heterophylla*; y lo atribuyen al decremento en el porcentaje de madera tardía producto del incremento en el ancho de anillos, produciendo así mayor cantidad de madera temprana y sin que haya un incremento en la cantidad de madera tardía.

Cuadro 3. Variación de la densidad básica y ancho de anillos promedio						
Altura	Valores de densidad básica			Valores de Ancho de anillos		
	(g cm ⁻³)			(mm)		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Base (0.30 cm)	0.38	0.40 a	0.40	0.88	4.00 a	7.05
Diámetro Normal (1.30 m)	0.37	0.38 b	0.43	0.95	4.13 a	8.14

Hileras de la misma columna con literales iguales no presentan diferencias significativas
 Hileras de la misma columna con literales diferentes si presentan diferencias significativas

Los resultados encontrados en esta investigación difieren con lo reportado por Koga y Zhang (2002) para *Abies balsamea*, Jovanovski *et al.* (2002) para *Pinus ponderosa*, y Taylor y Burton (1982) para *Pinus taeda* quienes encontraron que existe una carencia de correlación entre ancho de anillos y densidad básica. Así también con Petty *et al.*, (1990) y Stephan y Liesebach, (1995) quienes hallaron que en *Picea abies* la densidad tiene una correlación inversa pero baja con el ancho de anillos ($r = -0.44$ y $r = -0.35$ respectivamente). Sin embargo estas diferencias se pueden atribuir al índice de sitio, así como del origen genético de los árboles, como lo señala Gadir *et al.* (1993) para *Pseudotsuga menziesii*.

6. 1. 4 PORCENTAJE DE MADERA TARDÍA

Los resultados encontrados al formar secciones por anillos (dos secciones de 5 y una de 4 anillos) a partir de la médula para todos los árboles se muestran en el cuadro 4.

Cuadro 4. Valores promedios por secciones del porcentaje de madera tardía, en las dos alturas estudiadas.

Altura	Valores promedios por secciones de la madera tardía(%)		
	tardía(%)		
	Médula	Centro	Corteza
Base (0.30 cm)	23.3	29.0	33.7
Diámetro Normal (1.30 m)	23.9	32.9	35.6

Al analizar los resultados se pudo observar que la fluctuación del porcentaje de la madera tardía a lo largo del radio por anillos individuales tiende a incrementar del centro

del árbol hacia fuera de éste en las dos alturas (Figura 12), hallándose un valor promedio de 27.64%.

El patrón que sigue la madera tardía respecto al radio del fuste coincide con Donaldson *et al.* (1995), quien señala que existe un incremento en la cantidad de madera tardía a partir de la médula hacia fuera en *Pinus radiata*. Borja *et al.* (2004) afirman que sucede lo mismo para *Pinus caribaea*. Amarasekara y Denne (2002) encontraron esta misma tendencia en *Pinus nigra* en árboles suprimidos, codominantes y dominantes.

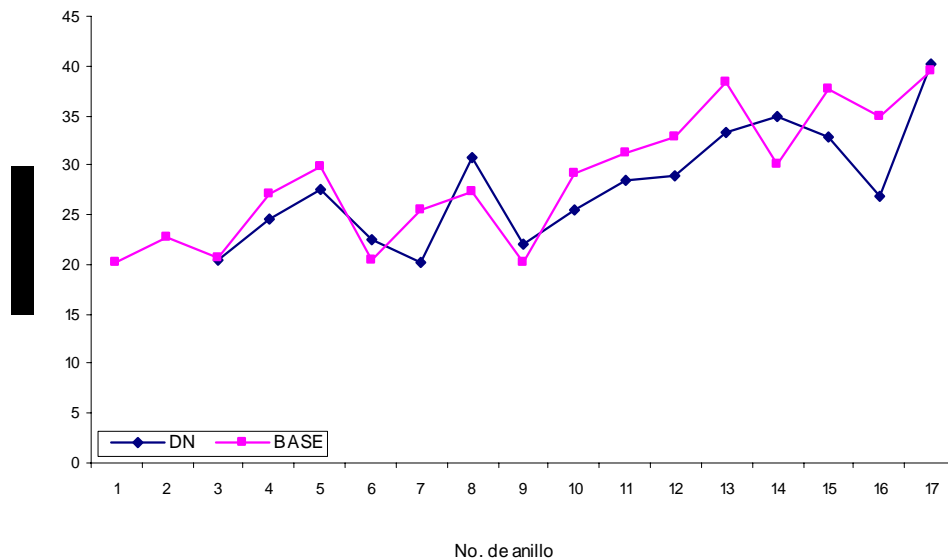


Figura 12. Variación de la madera tardía en el radio del fuste

Con base en la prueba de medias de Tukey, no hubo diferencias significativas entre las dos alturas y de acuerdo al análisis de varianza, el árbol y la posición del anillo dentro de este influyen de manera significativa en el porcentaje de madera tardía ($Pr > F = 0.0001$). No obstante la variable que presenta una mayor influencia es la posición del

anillo dentro del árbol. Esto se puede deber al decremento de la cantidad de madera temprana por la disminución del ancho de anillos, y sin haber aumento en la cantidad de madera tardía si no por el contrario, disminuye ligeramente, por lo que el porcentaje de la madera tardía aumenta. Esto coincide con lo señalado por O'Sullivan, (1976) quien afirma que el factor más influyente en la densidad es el ancho de la madera temprana en cualquier anillo de crecimiento y no la madera tardía.

6.1.5 CORRELACIÓN ENTRE MADERA TARDIA Y DENSIDAD BÁSICA

Al relacionar el porcentaje de madera tardía con densidad básica se observa que las dos presentan una tendencia similar de incrementar a partir de la médula en dirección de la corteza en ambas alturas (Figura 13); por lo que existe una relación directamente proporcional entre las dos variables. Con el procedimiento de correlación se confirmó que si existe esta relación ($r = 0.22753$). La relación encontrada entre estas dos variables coincide con lo reportado por Ward (1975) y Elliot (1970) quienes mencionan que al aumentar la proporción de la madera tardía también incrementará la densidad básica en todos los anillos de crecimiento. De igual forma Barrios, (2004) señalan que el decremento en densidad está estrechamente relacionado con la proporción de madera tardía. Por su parte Haygreen y Bowyer, (1996) y Barrios (2004) afirman que el que existan densidades bajas en los anillos cercanos a la médula de *Picea abies* se debe a la poca proporción de madera tardía y a una alta proporción de madera temprana.

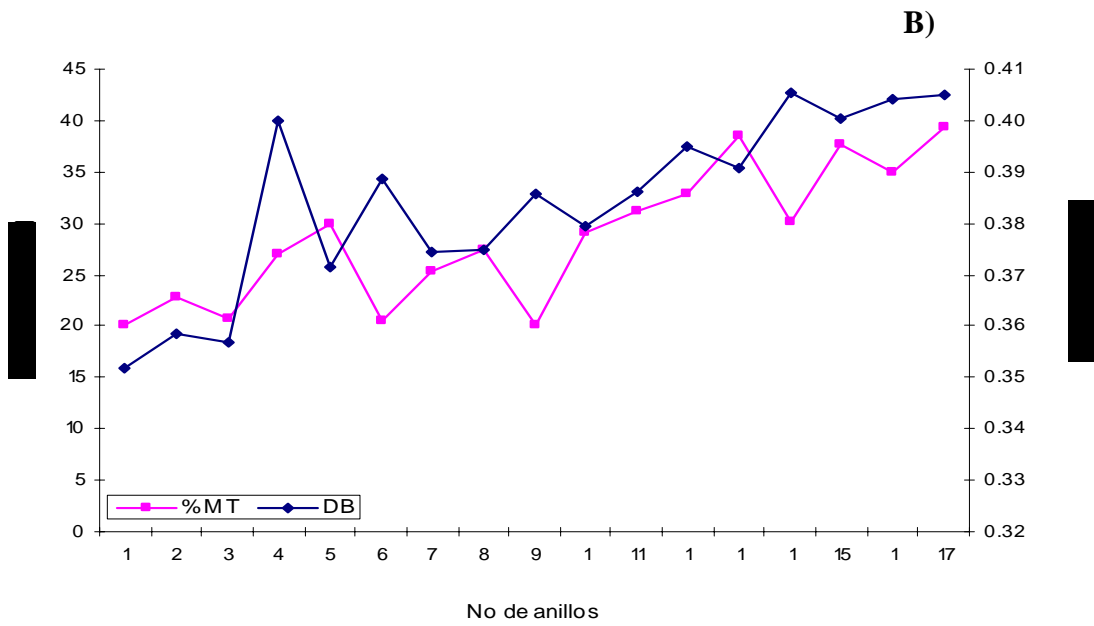
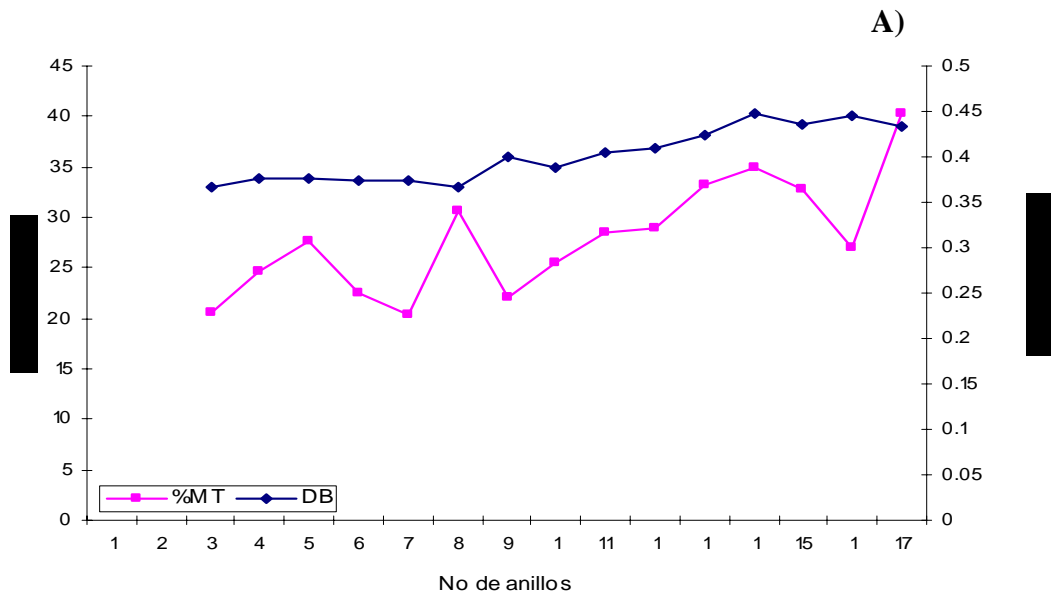


Figura 13. Relación entre porcentaje de madera tardía y densidad básica a dos alturas A) Diámetro normal B) Base

6. 1. 6 PORCENTAJE DE MADERA TEMPRANA

Al formar secciones por anillos de crecimiento a partir de la médula hacia fuera se encontraron los promedios que se muestran en el cuadro 5.

Cuadro 5. Proporción de madera temprana (%) en dos alturas			
Altura	Valores promedios por secciones de la madera temprana (%)		
	Médula	Centro	Corteza
Base (0.30 m)	76.1	71.0	66.3
Diámetro Normal (1.30 m)	76.7	67.1	64.4

De acuerdo a los resultados de este estudio, el patrón de variación encontrado en madera temprana en sentido transversal del fuste, presenta un decremento de la medula hacia la corteza (Figura 14) encontrándose un valor promedio de 72.35% en el porcentaje de la madera temprana.

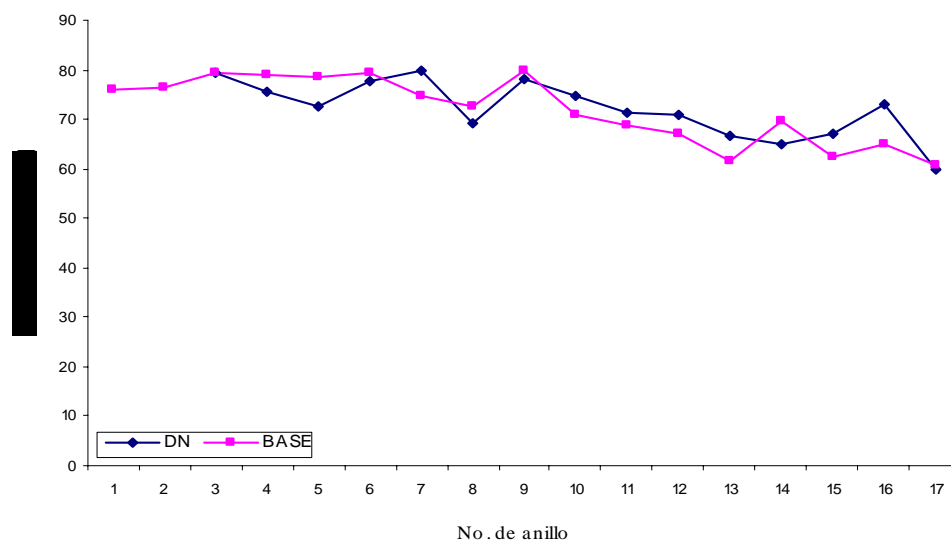


Figura 14. Variación de la madera temprana en el radio del fuste

En el análisis estadístico se obtuvieron valores altamente significativos al relacionar el porcentaje de madera temprana con el árbol y la posición del anillo en el árbol ($P > F = 0.0001$) teniendo mayor influencia la posición del anillo, al aplicar la prueba de medias de Tukey se pudo ratificar que el porcentaje de madera temprana no varía con la altura pues los valores obtenidos no fueron significativamente diferentes.

6. 1. 7 CORRELACIÓN ENTRE MADERA TEMPRANA Y DENSIDAD BÁSICA

Los resultados muestran que existe una relación negativa de la madera temprana con la densidad básica en las dos alturas (Figura 15). En el procedimiento de correlación se pudo corroborar que esta relación es altamente significativa ($r = -0.22753$).

De acuerdo a investigaciones realizadas se ha llegado a la conclusión de que el factor primario que influye en la densidad de la madera, es el ancho de la madera temprana dentro de cualquier anillo de crecimiento (O' Sullivan, 1976). Esto debido a que al aumentar la cantidad de madera temprana en cada uno de los anillos automáticamente el porcentaje de la madera tardía disminuye pues como se vio anteriormente, la cantidad de madera tardía no aumenta.

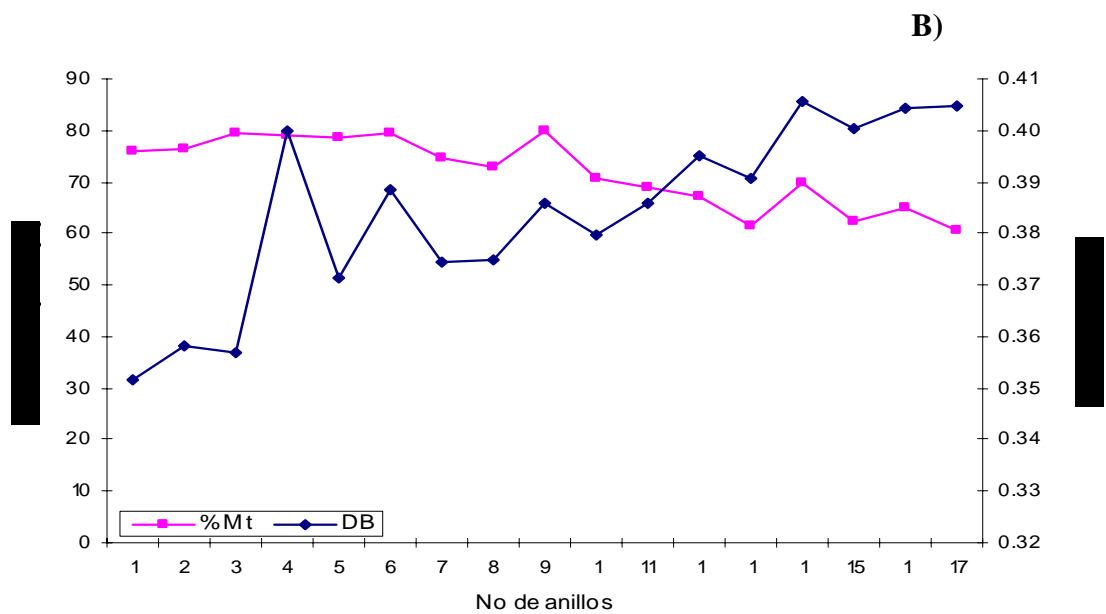
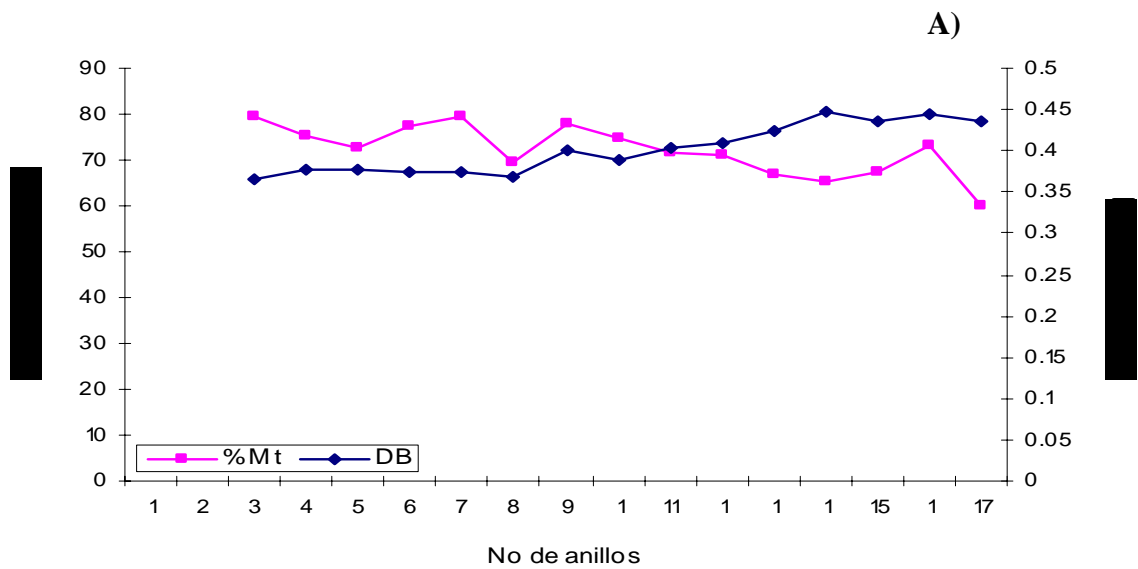


Figura 15. Relación entre porcentaje de madera temprana y densidad básica a dos alturas (A) Diámetro normal B) Base).

Por otra parte, se sabe que la madera temprana tiene células con pared más delgada y por lo tanto lumen más grande en comparación al de la madera tardía (Stahl, 1998) por lo que esto hace que al haber mayor cantidad de espacios vacíos existe menor cantidad de sustancia madera lo que implica que la densidad básica será menor.

6. 1. 8 CONTRACCIONES VOLUMÉTRICAS

Los resultados indican que las contracciones volumétricas tienden a aumentar de la médula a la corteza, este patrón sucede similarmente en las dos alturas estudiadas (Figura 16), presentando un promedio general para esta propiedad de 12.02%. Con la altura, el valor de esta variable tiende a aumentar. Por otra parte, el análisis de varianza indica que el árbol, la altura y la posición del anillo dentro del árbol influyen de manera significativa en las contracciones volumétricas ($Pr > F = 0.0001$). Así también de acuerdo a la prueba de medias de Tukey ($\alpha = 0.05$) la diferencia entre los valores de altura es significativa (Cuadro 6).

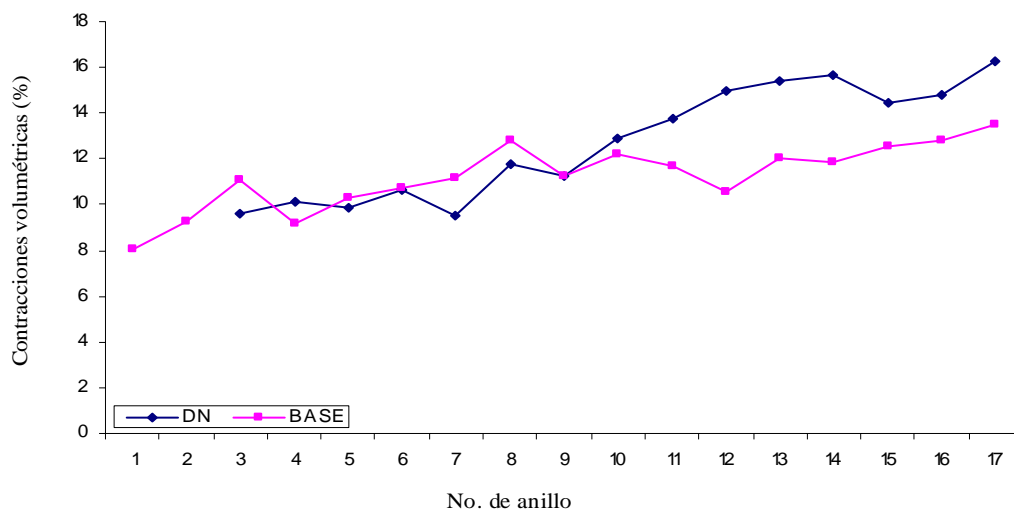


Figura 16. Comportamiento de las contracciones volumétricas totales a través del radio del fuste, cada valor representa la media de 12 mediciones. DN (altura al diámetro normal), BASE (altura a 30 cm a partir de la base del árbol).

Cuadro 6. Valores máximos y mínimos (%) para contracciones volumétricas en las dos alturas.
Valores de contracciones volumétricas (%)

Altura	Mínimo	Media	Máximo
Base (0.30 cm)	8.02	11.32 a	13.45
Diámetro normal (1.30 m)	9.54	12.83 b	16.30

Hileras de la misma columna con literales diferentes indican que hay diferencias significativas

La tendencia que mantienen las contracciones de *Pinus greggii* a través del radio concuerda con lo reportado por Goche *et al.* (2000) para *Abies religiosa* y *Pinus ayacahuite*, quienes encontraron el mismo patrón de comportamiento radial y a través todas las alturas evaluadas. Sin embargo no sucede lo mismo a través del fuste, ya que en *Abies religiosa* se presentan valores más altos cerca de la base del árbol disminuyendo al aumentar la altura, contrario a lo encontrado en *Pinus greggii*. Por otro lado encontraron un promedio de 12.59% para *Pinus ayacahuite*, dicho valor es similar al obtenido para *Pinus greggii*. Ellos atribuyen este comportamiento a la densidad básica.

El valor promedio estimado para las contracciones volumétricas en este estudio permite clasificarlas como “muy altas” de acuerdo a la clasificación propuesta por Fuentes, (S/F).

6.1.9 CORRELACION ENTRE CONTRACCIONES VOLUMÉTRICAS Y DENSIDAD BASICA.

De acuerdo a los resultados encontrados en esta investigación se observó que no existe correlación entre la densidad básica y las contracciones volumétricas ya que los análisis de correlación fueron estadísticamente no significativos ($Pr > F = 0.2425$).

6. 2 PLANTACIÓN UBICADA EN EL MUNICIPIO DE ACAXOCHITLÁN

6. 2. 1 DENSIDAD BÁSICA

En cuanto a la densidad básica se encontró que el valor de ésta tiende a disminuir de la medula a la corteza (Figura 17). De las fuentes de variación consideradas en el análisis de varianza (árbol y posición del anillo) solo la posición del anillo tiene influencia significativa sobre los valores de la densidad básica ($Pr > F = 0.0006$). Los resultados muestran que para la densidad existe una media de 0.304 g cm^{-3} , para todos los árboles estudiados, presentando un mínimo de 0.20 g cm^{-3} y un máximo de 0.44 g cm^{-3} .

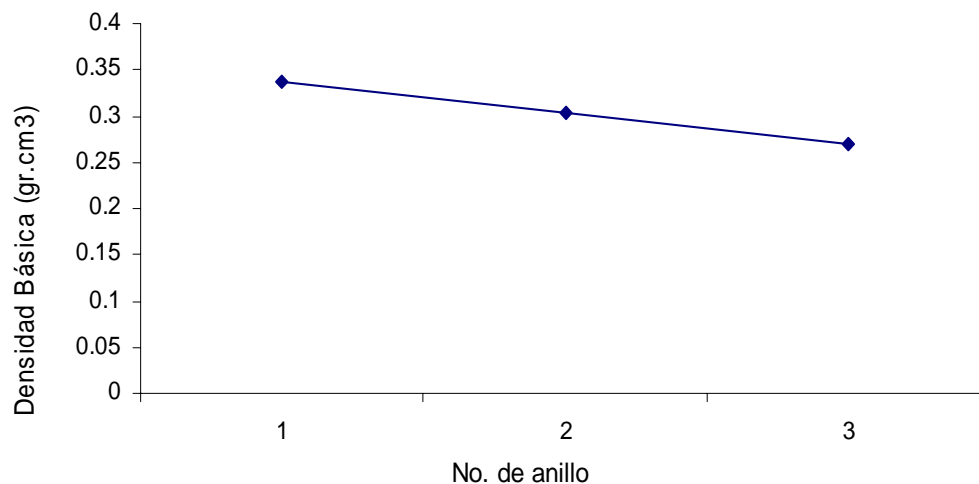


Figura 17. Variación de la densidad básica a través del radio del fuste. Cada valor representa la media de 10 mediciones.

6. 2. 2 ANCHO DE ANILLOS

Los resultados encontrados para el ancho de anillos presentan una tendencia de incrementar de la medula a la corteza (Figura 18), encontrando un incremento promedio para todos los árboles estudiados de 0.2650 mm, presentado un mínimo de 4.74 mm y un máximo de 7.68 mm.

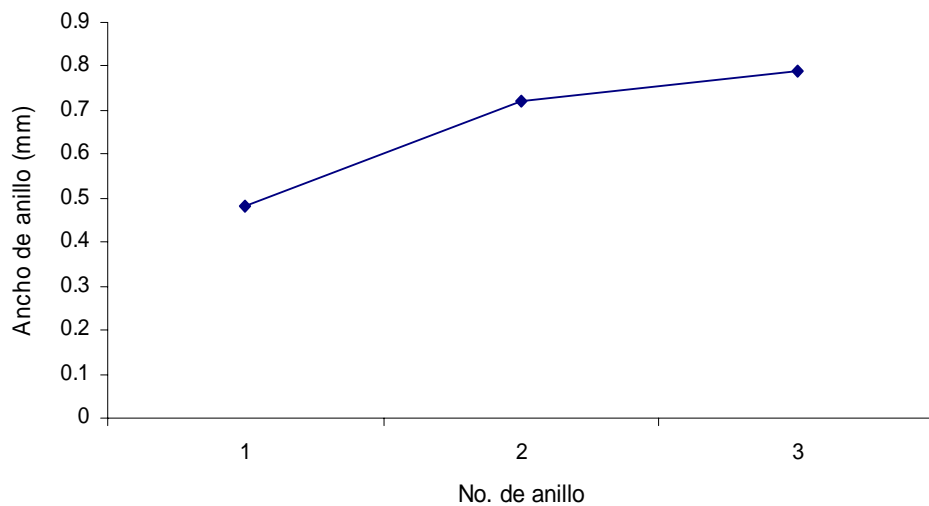


Figura 18. Variación del ancho de anillos de crecimiento a través del radio del fuste. Cada valor representa la media de 10 mediciones

Los resultados del análisis de varianza muestran que si existe un efecto significativo de las fuentes de variación (árbol y posición del anillo) sobre el ancho de anillo ($Pr > F = 0.0038$); sin embargo, analizando de manera particular se observa que la posición del anillo dentro del árbol tiene mayor influencia que el árbol ($Pr > F = 0.0007$ y $Pr > F = 0.0291$ respectivamente), la existencia de esta relación se corroboró al aplicar una prueba de correlación ($r = 0.46929$), la cual muestra que existe una relación directamente proporcional entre las dos variables.

6.2.3 RELACIÓN ENTRE EL ANCHO DE ANILLO Y DENSIDAD BÁSICA

Con base en los resultados obtenidos se observó que la densidad básica y el ancho de anillos de *Pinus greggii* mantienen una relación inversamente proporcional ya que mientras el ancho de anillos aumenta de la medula a la corteza la densidad disminuye en la misma dirección (Figura 19).

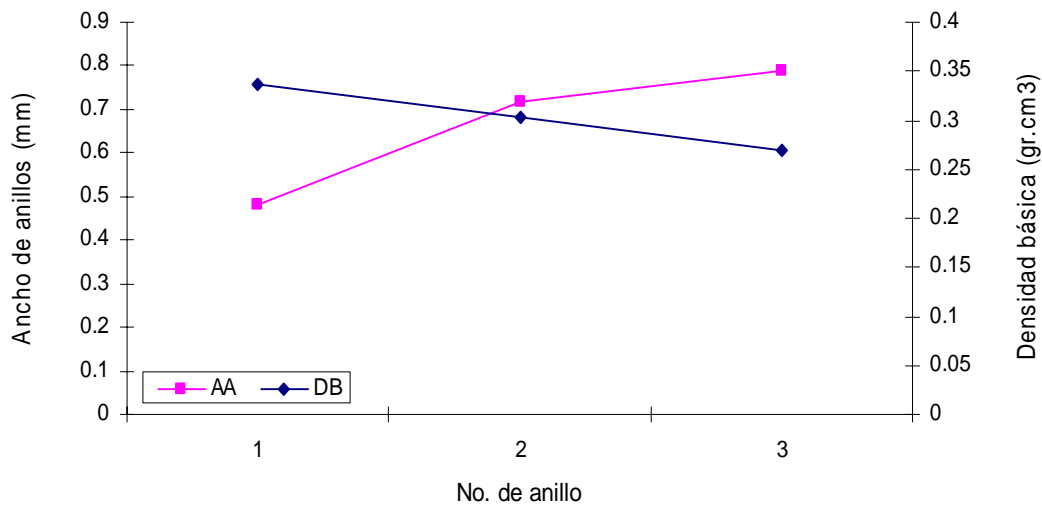


Figura 19. Correlación entre el ancho de anillos y densidad básica. Cada valor representa la media de 10 mediciones

Como se pudo observar en las figuras anteriores la densidad tiende a disminuir, lo cual no coincide con otras investigaciones (Currant, 1939; Spurr. y Hsiung, 1954; Petty *et al.*, 1990; Dumail J. *et.al.*, 1998; Xu-Youming *et. al*, 1999), ya que en dichos trabajos se han utilizado árboles de edades avanzadas. Sin embargo, si se analizara el comportamiento de los arboles de esta plantación en años posteriores talvez se encontraría un patrón similar al reportado en la mayoría de las investigaciones pues con un mayor número de anillos la tendencia en los primeros cuatro no sería significativa.

7. CONCLUSIONES

El patrón de variación de la densidad básica encontrado en el sentido radial fue el de mantener una tendencia creciente de la médula hacia la corteza en ambas alturas y en dirección longitudinal presentó la tendencia de incrementar con la altura en el árbol. El valor promedio estimado para esta variable fue permitió clasificarla como “muy ligera” y con base en este valor los usos recomendados para la madera de *Pinus greggii* a la edad de 17 años son: para cajas de empaque y embalaje.

La tendencia encontrada para el ancho de anillos en el sentido radial fue de disminuir a partir de la médula hacia la corteza por lo que el ancho de anillos esta directamente relacionado con la edad; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre las dos alturas estudiadas. En la presente investigación *Pinus greggii* presentó un valor promedio bueno en los primeros nueve incrementos, a pesar de las condiciones del sitio en las que se encuentra la plantación y con esto se reafirma la buena adaptación de esta especie a sitios de calidad baja.

El porcentaje de madera tardía en dirección transversal incrementó de la médula a la corteza en las dos alturas, por el contrario el porcentaje de madera temprana presentó un patrón de disminuir del centro del árbol hacia fuera de este en ambas alturas. Ninguna varió con la altura pues de acuerdo al análisis estadístico no hubo diferencias significativas entre las dos alturas. Estas dos variables mantienen una relación estrecha con la densidad básica; sin embargo, el factor que mayor influencia tiene en la densidad es el porcentaje de madera temprana.

Las contracciones siguieron una tendencia de aumentar de la médula hacia la corteza en las dos alturas estudiadas, con la altura esta propiedad tiende a aumentar. Por otra parte no se encontró ninguna relación significativa entre esta variable y la densidad básica. El promedio general que presentaron las contracciones volumétricas permitió clasificarlas como “muy altas”.

Respecto a la plantación de Acaxochitlán el comportamiento de la densidad básica fue de disminuir de la médula a la corteza presentando un valor promedio de 0.304 g cm^{-3} y por el contrario el ancho de anillos presentó una tendencia de incrementar del centro del árbol hacia fuera presentando un valor promedio de 6.73 mm, de tal manera que estas mantienen una relación inversamente proporcional.

A pesar de la diferencia de valores de la densidad básica entre las dos plantaciones estudiadas, la madera de las dos entran dentro del mismo rango de clasificación por lo que la madera que es obtenida en aclareos puede tener la misma utilidad.

8. RECOMENDACIONES

Se recomienda incrementar el número de muestras así como considerar mayor número de alturas en cada árbol.

Se sugiere también realizar estudios posteriores en la madera de la plantación de Fontezuelas para poder observar el comportamiento que siguen las variables consideradas en esta investigación a demás de conocer la influencia de los aclareos en la madera y poder determinar la intensidad de aclareo más apropiada para esta especie en estas condiciones y realizar trabajos en los que se compare la madera procedente de rodales naturales y de plantaciones de *Pinus greggii* de condiciones y edades similares.

A partir de los 9 años se recomienda aplicar un aclareo en las masas forestales de *Pinus greggii* que se desarrollen en condiciones iguales o similares a las de la plantación de Fontezuelas.

Finalmente, se recomienda medir otras variables como la longitud de traqueidas para poder determinar el índice de calidad de pulpa para papel que tiene la madera de Fontezuelas.

8. LITERATURA CITADA

- AMARASEKARA, H., DENNE, M. P. 2002. Effects of crown size on wood characteristics of Corsican pine in relation to definitions of juvenile wood, crown formed wood and core wood *Forestry*. 75(1): 51 – 61.
- BAMBER, R.; Burley, J. 1983. The Wood properties of radiata pine. Commonwealth Agricultural Bureaux. Editorial Farnham Royal. England.
- BARCENAS, P. C.; DAVALOS, S. R. 1999. Importancia de la Lignina en las Contracciones de la Madera: Revisión Bibliográfica. *Madera y Bosques* 5(1):13-26.
- BARRIOS, R. A. E. 2004 Determinación del diámetro del cilindro central defectuoso en trozas podadas de pino radiata (*Pinus radiata* D.Don), Mediante atenuación de radiación gamma. Tesis profesional. Facultad de ciencias forestales. Universidad de Chile. Santiago, Chile. Pp. 16 – 20.
- BORJA DE LA ROSA, A.; MEZA, J.; ROMERO, L. 2004. Cinco características tecnológicas de la madera de *Pinus caribaea* var. hondurensis. Barret Golf.
- BROWN, H. P.; PANSIN, A. J.; FORSAITH, C. C. 1952. Textbook of wood Technology. Vol. 2. McGraw – Hill book company, inc. Nuw York Toronto London. 783 Pág.
- BRUNDEN, M.N. 1964. Specific Gravity and Fiber Length in Crown – Formed and Stem – Formed Word. *Forest Products Journal*. 13 – 17.
- CONAFOR. 2005. Marco Nacional de las plantaciones forestales. 7 pág.
- CRUZ, L. J. 2002. Secado de Madera Aserrada. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Ediciones Michoacanas. Morelia, Michoacán, México. 103 pag.
- CURRANT. 1939. Growth factors influenci the value of jack pine for Kraft and sulphite pulps. *Paper trate Jour*. 7 Pág.
- DEBELL, J.D.; TAPPEINER, J.C. II.; KRAHMER, R. L. 1994. Wood density of western hemlock: effect of ring width. *Canadian Journal of Forest Research*. 24 (3): 638 – 641.
- DERESSE, T. 1998. The influence of age and growth rate on selected properties of Maine – grown red pine. University of Maine, Orono, ME. Ph. D. Thesis. 177p.
- DICKSON, R. L.; WALKER, J. C. F. 1997. Selecting Wood Quality Characteristics for Pines. In *Tmber Management Toward wood Quality and End – Product Value*. S.

- Y. Zhang, R. Gosselin and G. Chauret (eds). Proceedings of the CTIA/IUFRO International Wood Quality Workshop, Quebec City. Part IV. pp. 45 – 52.
- DOMÍNGUEZ, C.; NAVAR, J.; LOERA, O. 2001. Comparación del rendimiento de pinos en la reforestación de sitios marginales en Nuevo León. *Madera y Bosques* 7 (1): 27 – 35.
- DONALDSON, L. A.; EVANS, R.; COWN, D. J.; LAUSBERG, M. J. F. 1995. Clonal variation of wood density variables in *Pinus radiata*. *New Zealand Journal of Forestry Science* 25(2): 175 – 188.
- DONG OK LIM; WOONG YOUNG SOH. 1997. Cambial development and tracheid length of Dwarf pines (*Pinus densiflora* y *P. thunbergii*). *AIWA Journal* 18(3): 301 – 310.
- DUMAIL, J.F.; CASTERA, P.; MORLIER, P. 1998. Hardness and basic density variation in the juvenile wood of maritime pine. *Annales – des – Sciences – Forestieres*. 55 (8): 911 – 923.
- DUTILLEUL, P.; HERMAN, M.; AVELLA – SHAW, T. 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.
- DVORAK, W.S.; DONAHUE, J. E. 1993. Reseña de Investigaciones de la Cooperativa CAMCORE 1980 – 1992. CAMCORE. Raleigh, N. C., USA. 94 p.
- EGUILUZ, P. T. 1978. Ensayo de Integración de los conocimientos sobre el genero *Pinus* en México. Tesis Profesional. Departamento de Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, México. 614 p.
- ELLIOT, G. K. 1970. Wood density in conifers. Technical communication No. 8, Commonwealth Forestry Bureau, Oxford, England.
- FARJON, A.; STYLES, T. B. 1997. Flora Neotropica. Monograph 75 *Pinus* (pinaceae). Organización for flora Neotropica by The New York Botanical Garden. New York. 192 – 195.
- FUENTES (S / F). Apuntes para el curso de tecnología de la madera I. Serie de Apoyo Académico 33. División de Ciencias Forestales. México. 99 pág.
- GADIR, A. Y.; KRAMER, R. L. ; MCKIMMY, M. D. 1993. Relationships between intra – ring variables in mature Douglas – fir trees from provenance plantations. *Wood Fiber Sci.* 25(2): 182 – 191.
- GARCÍA, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Copen. 4ª edición. Instituto de Geografía. Universidad Nacional Autónoma de México. 246 p.

- GOCHE, T. J.; FUENTES, S. M.; BORJA DE LA ROSA, A.; RAMIREZ, M. H. 2000. Variación de las propiedades físicas de la madera en un árbol de *Abies religiosa* y de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del ambiente. 6(1): 83 – 92.
- GOCHE, T. R.; VELAZQUES, M. A.; BORJA, A.; TERRAZAS, T.; CERVANTES, M. C.; TRINIDAD, S. A. 2003. Densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* antes y después de un aclareo. Interciencia 28(12): 705 – 709.
- HARVALD, C.; OLESEN, P. O. 1987. The variation of the basic density within the juvenile wood of Sitka spruce (*Picea sitchensis*). Scandinavian Journal of Forest Research 2. 525 – 537.
- HAYGREEN, J.G.; BOWYER J.L. 1996. Forest Products and Wood Science (An introduction). 3rd ed. - Ames: Iowa State University Press, 490 Pág.
- INEGI. 1992. Síntesis Geográfica del Estado de Hidalgo. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática. Ags. México. 134 Pág.
- INEGI. 1999. Carta Geológica de Pachuca, F14 – 11. Escala 1:250000.
- ISHENGOMA R.C.; GILLAH – PR; IDDI – S. 1995. Basic density, tracheid length and strength properties of juvenile and mature wood of *Pinus patula* grown in Tanzania. South – African – Forestry – Journal. No. 172, 19-23.
- ISHENGOMA R.C.; MREMA,-FAJ; RINGO,-WN.1990. Basic density and tracheid length of normal and compression wood from plantation grown *Pinus patula*. Record – Faculty – of – Forestry, - Sokoine – University – of – Agriculture. No. 44.
- JAIN, K.K.; SETH, M.K. 1979. Intra – increment variation in specific gravity of wood in blue pine. Wood Science and Technology. 13(4): 239 – 248.
- JANE, F. W.; WILSON, K.; WHITE, D. J. B. 1970. The Structure of Wood 2^a Ed. London Adam and Charles Black. Pág. 72.
- JIANG-JM; SUN-HQ; LU-BS. 1999. The within-tree variation of wood basic density of loblolly pine. Forest – Research. 12(1): 97-102.
- JOHANSSON, K.; PERSSON, A.1997. Wood properties of naturally regenerated and planted Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst) on a productive site in southwestern Sweden. Forest-and-Landscape-Research. Journal – article 1(4) 399 – 414.

- JOVANOVSKI, A.; JARAMILLO, M.; LOGUERCIO, G. 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. Ex Laws) en tres localidades de Argentina. *Bosque (Valdivia)*. 23(2):99-104.
- KANG – CHI YANG. 2002. Impact of spacing on Juvenile Wood and mature Wood properties of white spruce (*Picea glauca*). Taiwan. *Journal Forest Science*. 17 (1): 13 – 29.
- KOGA, S.; ZHANG, S.Y. 2002. Relationship between wood density and annual growth rate components in Balsam fir (*Abies balsamea*). *Wood and Fiber Science*. 34 (1): 146 – 157.
- KOLLMAN, F.F.P.; CÔTÉ JR., W. A. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid wood. Springer – Verlag, New York. 592p.
- 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.
- LINDSTRÖM, H. 1996. Basic Density of Norway Spruce. Part II. Predicted by Stem Taper Mean Growth Ring Width, and Factors Related to Crown Development. *Wood and Fiber Science*. 28 (2): 240 – 25.
- LÓPEZ, L.; VALENCIA, M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México. *Madera y Bosques* 7(1):37 – 46.
- LOPEZ, U. J., DONAHUE, J. K. 1995. Seed Production of *Pinus greggii* Engelm. in Natural Stand in Mexico. *Tree Planters' Notes* 46(3):86 – 92.
- MACDONALD, E.; HUMBERT, J. 2002. A review of the effects of silviculture on timber Quality of Sitka spruce Scotland. *Forestry* 75(2): 108 – 134.
- MANRIQUE, E. R.; PLUMPTRE, R. A. 1994. Guía para el uso de maderas de México y Belice. Oxford Forestry Institute. Department of Plant Sciences. University of Oxford, Oxford, England. 196 pag.
- MARTÍNEZ, C. 2000. Estado del conocimiento de *Pinus greggii* Engelm. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Méx. pp 364 – 371.
- MARTINEZ, M. 1992. Los Pinos Mexicanos, tercera edición. Edit. Botas. México. 361 pág.
- MOSCHLER, W.; DOUGAL, F.; MCRAE, D. 1989. Density and Growth ring characteristics of *Pinus taeda* L. Following Thinning. *Wood and Fiber Science* 21(3): 313 – 319.

- MURILLO, O. 1988. Natural variation in wood specific gravity of *Pinus greggii*, *P. leiophylla* and *P. pringlei*. CAMCORE Bulletin on Tropical Forestry. No. 5. Raleigh, N.C., USA. 24.
- O’SULLIVAN, P. 1976. The influence of initial espacement and thinning regime upon wood density in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr). M.Agr.Sc. Thesis, University College Dublin.
- PANSHIN, A. J.; C. DE ZEEUW. 1980. Textbook of wood technology. 4 ed. New York: Mc Graw – Hill. 722 pp.
- PEARSON, R. G. Y GILMORE, R.C. 1980. Effect of fast growth rate on the mechanical properties of loblolly pine. *Forest Products Journal* 30(5):47 – 54.
- PEARSON, R. G.; ROSS, B. E. 1984. Growth rate and Bending properties of selected Loblolly Pines. *Wood and Fiber Science*. 16(1): 37 – 47.
- PÉREZ, O. C.; OLVERA, C. P. 1981. Anatomía de la Madera de 16 especies de Coníferas. SARH. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México, D.F. Boletín Técnico No. 69. 111 p.
- PETERSON, T. A. 1968. Variation in radial growth patterns and specific gravity of red pine (*Pinus resinosa* Ait.). *Forest Products Journal* 18(11): 63.
- PETTY, J. A.; MACMILLAN D. C.; STEWARD, C. M. 1990. Variation of density and growth ring width in stems of Sitka and Norway spruce. *Forestry* 63(1): 39-49.
- PRONARE. 2001. Evaluación de la reforestación. 1999. del Programa Nacional de Reforestación. Secretaria del Medio Ambiente Recursos Naturales y Pesca. México. D.F.
- RAZO, Z. R. 2001. Notificación Técnica Para El Aprovechamiento Comercial Sustentable de Laurel (*Litsea glaucescens*) En Los Terrenos del Ejido “Fontezuelas”, Municipio de Metztitlan, Hgo. Documento entregado a la SEMARNAT, para el posible aprovechamiento del laurel. (inédito). 31 Pág.
- RIGLING, A.; WADNER, O.; FORSTER, T. P.; BRÄKER, U. O.; POUTTU, A. (2001) Ecological interpretation of tree-ring width and intraannual density fluctuations in *Pinus sylvestris* on dry sites in the Central Alps and Siberia. *Can. J. For. Res.* 31:18-31.
- ROZENGERG, PH.; FRANC ,A.; CAHALAN, C. 2000. Incorporating Word Density in Breeding Programs for Softwoods in Europe: A Strategy and Associated Methods. *Silvae Genetica*. 50(1).

- SAS Institute Inc. 1999. SAS Online Doc, Version 8. CD-ROM. SAS Institute, Inc., Cary, N.C.
- SELLER, T. J. 1962. Factors Influencing the Wood Quality of Plantation – Grown Flash Pine. *Forest Products Journal*. Magnolia, Arkansas. 443 – 446.
- SEMARNAT. 1998. Ficha Técnica No. 2 de especies forestales estratégicas. *Gaceta de la Red Mexicana de Germoplasma Forestal*. 1: 58 – 62.
- SETH, M.K.; CHAMAN, LAL.; MADHU, BALA. 1988. Radial Pattern of whole – ring specific gravity variation from pith to bark at several successive height in blue pine (*Pinus wallichiana* A.B. Jackson). *Indian Forester*. 275 – 284.
- SHOTTAFER, J. E.; KUTSCHA, N. P.; HALE, R. A. 1972. Properties of plantation grown red pine related to its utilization. *Life Sciences and Agriculture Experiment Station, University of Maine at Orono, Orono, ME. Technical Bulletin 61*. 72p.
- SIMPSON, H. L.; DENNE, M. P. 1997. Variation of ring width and specific gravity within trees from unthinned Sitka spruce spacingria in clocaenog, North Wales. *Forestry* 70 (1): 31 – 45.
- SMITH, D.M. 1956. Effect of growth zone on specific gravity and percentage of summerwood in wide ringed, second – growth Douglas – fir. *USDA Forest Service, Forest Products Laboratory Madison, WI. Report No. 2057*. 10p.
- STAHL, G. E. 1998. Changes in Wood and Stem Properties of *Pinus sylvestris* caused by Provenance Transfer. *Silva Fennica* 32 (2): 163 – 172.
- STANGER, T.; DVORAK, B.; HODGE, G. 2002. Variation and Genetic Control of Basic Wood Density in *Pinus patula* Grown in South Africa. *African Pulp and Paper Week*.
- STEPHAN, B. R.; LIESEBACH, M. 1995. Growth Performance and Wood Characteristics of Five *Pinus contorta* Progenies. *Silvae Genetica*.44(5-6): 243 – 248.
- TALBERT, T. J.; JETT, B. J. 1981. Regional Specific gravity values for plantation growth Loblolly pine in the Southeastern United States. *Forest Sci.* 27(4): 801 – 807.
- TAYLOR, F.W.; BURTON, J. D. 1982. Growth ring characteristics, specific gravity, and fiber length of rapidly grown loblolly pine. *Wood and Fiber*. 14(3): 204 – 210.
- TECLINE. 2005. Measurement of Earlywood and Latewood Properties in Loblolly pine. *Forest Products Laboratory*. Pag. 1 – 2.
- VALENCIA, M. S.; VARGAS, H. J. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. *Madera y Bosques*. 3(1): 81 – 87.

- VALENCIA, M. S.; VARGAS, H.; CHACÓN, S. 1993. Un Método sencillo para la estimación de la densidad de la madera. I Congreso Mexicano Sobre los Recursos Forestales. Saltillo, Coah. México. 70 p.
- VIGNOTE, P. S.; JIMÉNEZ, P. F. J. 1996. Tecnología de la madera. Ed. Mundi – Prensa. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 602pp.
- WALKER, J. K. C. 1993. Primary Wood Processing: Principles and practice. Chapman and Hall, London. 595 p.
- WARD, D. 1975. The influence of tree spacing upon tracheid length and density in Sitka spruce (*Picea sitchensis* (Bong.) Carr). M.Agr.Sc. Thesis, University College Dublin.
- WARREN, W.G. 1979. The contribution of earlywood and latewood specific gravities to overall wood specific gravity. Wood and Fiber 1(2): 12–135.
- WIEDENBECK, J. K.; HOFMANN, K.; PERALTA, P. SKAAR, C. KOCH, P. 1990. Air Permeability, Shrinkage and Moisture Sorption of Lodge pole pine Stem wood. Wood and Fiber Science 22 (3): 229 – 245.
- XU–YM; TANG–WP; XU–QH; LIU–LD; DENG–LY. (1999). Basic density variation in provenances of exotic loblolly pine in Wuhan and its comprehensive selection. Journal – of – Huazhong – Agricultural – University. 18(2): 180-184.
- XU–YM; LIN–H; WEI–ZHENG–HB; FU–Q. 2002. Effects of thinning intensities on wood properties of exotic Slash pine Plantación. Journal of Northeast Forestry University. 30(2): 38 – 42.
- ZHANG, S. Y. 1997. Wood Quality: Its Definition, Impact and Implications for Value – Added Timber Management and End Uses. In Timber Management Toward wood Quality and End – Product Value. S. Y. Zhang, R. Gosselin and G. Chauret (eds). Proceedings of the CTIA / IUFRO International Wood Quality Workshop, Quebec City. Part I. pp. 17 – 39.
- ZOBEL, B.J. and J.B. Jett. (1995). Genetics of wood production. Springer-Verlag, Berlin, 337 pp.
- ZUÑIGA, B.; VALENCIA, M. S. 1999 Variación de la densidad básica de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y entre localidades del norte de México. Memoria del IV Congreso Mexicano Sobre Recursos Forestales. Durango, Dgo., México. pp 119 – 120.

ANEXOS

CLASIFICACIÓN DE LAS CONTRACCIONES EN LA MADERA SEGÚN SU INTENSIDAD

GRADO	TANGENCIAL		RADIAL		VOLUMÉTRICA	
	Tv a To	Tv a T12	Rv a Ro	Rv a R12	Vv a Vo	Vv a V12
Muy baja	< 3.5	< 2.5	< 2.0	< 1.0	< 7.5	< 4.1
Baja	3.6 – 5.0	2.6 – 4.0	2.1 – 3.0	1.1 – 2.0	7.6 – 10.0	4.2 – 5.6
Media	5.1 – 6.5	4.1 – 5.5	3.1 – 4.0	2.1 – 3.0	10.1 – 15.0	5.7 – 8.5
Alta	6.6 – 8.0	5.6 – 7.0	4.1 – 5.0	3.1 – 4.0	15.1 – 19.0	8.6 – 10.8
Muy alta	> 8.1	> 7.1	> 5.1	> 4.1	> 19.1	> 10.9

Fuentes (S / F)

CLASIFICACIÓN DE LA MADERA DE ACUERDO A LA MEDIA DE LA DENSIDAD.

RESINOSAS Rango (g cm ⁻³)	FRONDOSAS	MADERA Clasificación
0.40	0.35	Muy ligera
0.40 – 0.49	0.35 – 0.50	Ligera
0.50 – 0.59	0.51 – 0.70	Semipesado
0.60 – 0.70	0.75 – 0.95	Pesada
0.70	0.95	Muy pesada

Vignote y Jiménez (1996)