



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO FORESTAL**

**INFLUENCIA DE LOS ACLAREOS SOBRE LA DENSIDAD BÁSICA Y ANCHO  
DE ANILLOS DE LA MADERA DE *Pinus patula* Schl. et Cham.**

**JOSÉ RODOLFO GOCHE TÉLLES**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**DOCTOR EN CIENCIAS**

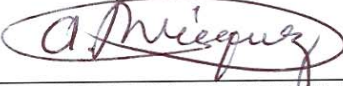

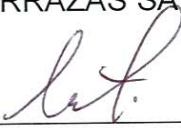
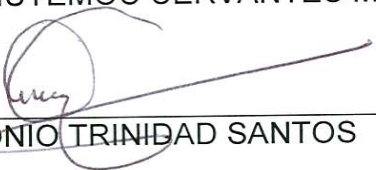
MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2007

La presente tesis titulada: "Influencia de los aclareos sobre la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham", realizada por el alumno: **José Rodolfo Goche Télles**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**DOCTOR EN CIENCIAS  
FORESTAL**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO	 Ph. D. ALEJANDRO VELAZQUEZ MARTÍNEZ
ASESOR	DRA. AMPARO BORJA DE LA ROSA 
ASESOR	Ph. D. TERESA TERRAZAS SALGADO 
ASESOR	Ph. D. CUAHUTEMOC CERVANTES MARTINEZ 

Montecillo, Texcoco, México, 30 de agosto 2007

# INFLUENCIA DE LOS ACLAREOS SOBRE LA DENSIDAD BÁSICA Y ANCHO DE ANILLOS DE LA MADERA DE *Pinus patula* Schl. et Cham.

José Rodolfo Goche Télles, Dr.

Colegio de Postgraduados, 2007

Se evaluó el efecto de los aclareos sobre la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula*, proveniente de un bosque natural con dos calidades de estación, y de una plantación forestal. Para tal efecto se colectaron cilindros de madera a una altura de 1.30 m sobre el fuste. En cada muestra se determinó el ancho de los anillos de crecimiento y la densidad básica. Los resultados sobre densidad básica mostraron que la calidad de estación y el aclareo en el bosque natural no influyeron significativamente sobre el parámetro, presentando valores de 0.45 y 0.44 g cm<sup>-3</sup> para una calidad de estación alta, antes y después del aclareo respectivamente; por otro lado, en condiciones de calidad de estación baja los valores fueron 0.47 y 0.44 g.cm<sup>-3</sup> para antes y después de la intervención. En la plantación se observó un comportamiento similar al del bosque natural, los valores, previo y posterior al aclareo, fueron de 0.39 y de 0.41 g cm<sup>-3</sup>. Con respecto al ancho de anillos, sí hubo diferencia significativa en la calidad de estación baja del bosque natural, con un valor promedio de 3.26 mm antes y de 2.89 mm después del aclareo; por el contrario, con una calidad de estación alta no se encontraron diferencias significativas antes (2.52 mm) y después (2.20 mm) del aclareo. Por otro lado, en la plantación forestal se observaron diferencias significativas en el ancho de anillos, ya que antes del aclareo el valor del parámetro fue de 7.36 mm, y de 4.83 mm después de la intervención silvícola. El hecho de que el aclareo no influyó sobre la densidad básica de la madera, se explica por la baja intensidad de corta: 15 % en el bosque natural y 10 % en la plantación; no obstante lo anterior, el ancho de anillos resultó un parámetro sensible al aclareo.

Palabras Clave: aclareos, anillos de crecimiento, calidad de estación, densidad básica, madera tardía.

INFLUENCE OF THINNING ON WOOD DENSITY AND RING WIDTH OF *Pinus patula* Schl. et Cham.

José Rodolfo Goche Télles, Dr.  
Colegio de Postgraduados, 2007

Thinning effect was evaluated on absolute wood density and rings width of *Pinus patula* at natural forest (low and high site quality) and plantation. Wood cores were collected at 1.3 m height over steam. Each sample was analyzed in wood density and growing ring width. Both, site quality and thinning did not influence wood density. Absolute wood density values were 0.45 and 0.44 g cm<sup>-3</sup> for high site quality before and after thinning respectively. Meanwhile in low site quality, before and after thinning, absolute wood density values were 0.47 and 0.44 g cm<sup>-3</sup>. Plantation results were similar as forest, absolute wood density values were 0.39 and 0.41 g cm<sup>-3</sup> before and after thinning. About rings width, there was statistical difference in low site quality of natural forest due to thinning, average values of these were 3.26 mm and 2.89 mm before and after thinning. On the other hand, high site quality didn't promote statistical differences in ring width before (2.52 mm) and after (2.20 mm) thinning. In plantation conditions significant differences in ring width were showed, before thinning value was 7.36 and 4.83 mm before this silvicultural practice. The fact that thinning did not affect wood density could be explained because of the low cutting intensity: 15% in natural forest and 10% en plantation. Besides this, rings width seems to be a sensitive parameter for thinning.

Key words: thinning, growing rings, site quality, absolute wood density, late wood.

DEDICO ESTE TRABAJO

A MIS PADRES, A MIS DOS AMORES CELINA Y PAOLA, A MIS HERMANAS  
Y EN ESPECIAL A DIOS

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Colegio de Postgraduados por darme la oportunidad de cumplir una meta más en mi vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por los recursos económicos otorgados.

A la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo por el apoyo brindado para la realización de mi trabajo de investigación.

A la Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, por darme la oportunidad de desarrollarme en mi vida profesional.

Al Dr. Alejandro Velázquez Martínez por su apoyo en todo el trayecto de mi vida académica.

A la Dra. Amparo Borja de la Rosa, por su amistad y su acertada dirección de esta tesis.

A la Dra. Teresa Terrazas, por su amistad y sus inmejorables sugerencias para la mejora del documento.

Al Dr. Cuahutemoc Cervantes Martínez y al Dr. Antonio Trinidad Santos por sus aportaciones para la mejora de este trabajo.

Al M en C Ramón Razo Zarate y al Ingeniero Alfredo Ángeles por su apoyo en la colecta del material en la región de Zacualtipán.

Al Ing. Javier Castrejón de Luz y Fuerza del Centro por su apoyo en la colecta del material proveniente de plantaciones.

Y a todos aquellos que me ayudaron y apoyaron para la culminación de este trabajo.

GRACIAS...

## CONTENIDO

	PÁG.
ÍNDICE DE CUADROS -----	ix
ÍNDICE DE FIGURAS -----	xi
1. INTRODUCCIÓN -----	1
2. OBJETIVOS -----	4
3. REVISIÓN DE LITERATURA -----	5
3.1. Descripción de la especie de <i>Pinus patula</i> Schlechtendal & Chamisso -----	5
3.2. Descripción macroscópica de la madera de <i>Pinus patula</i> -----	7
3.3. Descripción microscópica de la madera de <i>Pinus patula</i> -----	7
3.4. Efectos de los aclareos sobre las propiedades de la madera -----	8
3.5. Comparación de la densidad básica proveniente de plantaciones y rodales naturales -----	15
3.6. Relación de la densidad básica con ancho de anillos y porcentaje de madera tardía -----	16
4 MATERIALES Y MÉTODOS -----	23
4.1. Fase de campo -----	23
4.1.1 Características y localización de los bosques naturales -----	23
4.1.2 Características y localización de la plantación -----	24
4.1.3 Tratamientos silvícolas previos en los sitios de estudio -----	25
4.1.4 Colecta del material en el bosque natural y en la plantación -	26
4.2. Fase de laboratorio -----	27
4.2.1 Identificación del aclareo -----	27
4.2.2 Determinación del porcentaje de madera tardía, ancho de anillos y densidad básica. -----	28

	PAG.
4.3. Análisis estadístico -----	30
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN -----	31
5.1. Relación de la densidad básica de la madera con el ancho de anillos, porcentajes de madera tardía y madera temprana en dos calidades de sitio, en la madera procedente de rodales naturales ----	31
5.1.1. Relación densidad básica - ancho de anillos -----	36
5.1.2. Relación densidad básica - % de madera tardía -----	39
5.1.3. Relación densidad básica - % de madera temprana -----	43
5.1.4. Relación ancho de anillos - % de madera tardía -----	46
5.2. Efecto de los aclareos, sobre densidad básica y ancho de anillos en dos calidades de sitio de la madera obtenida en rodales naturales ---	49
5.3. Efecto de los aclareos, sobre la densidad básica y ancho de anillos en la madera obtenida de plantaciones -----	58
5.4. Efecto del aclareo sobre densidad básica y ancho de anillos en las dos localidades estudiadas, rodal natural y plantación -----	67
6. CONCLUSIONES -----	76
7. LITERATURA CITADA -----	78
8. ANEXOS -----	90



## ÍNDICE DE CUADROS

	PAG.
Cuadro 1. Selección de los anillos de crecimiento con base en la aplicación de los aclareos, para cada uno de los sitios estudiados. -----	28
Cuadro 2 Coeficientes de correlación de Pearson, entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía y temprana de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales. -----	31
Cuadro 3 Valores generales encontrados en la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía y temprana de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales -----	35
Cuadro 4 Coeficientes de correlación de Pearson, entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía y temprana de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales, utilizando los valores promedio -----	36
Cuadro 5 Coeficientes de correlación de Pearson, entre ancho de anillos y porcentaje de madera tardía en la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales -----	46
Cuadro 6 Valores promedio de antes y después del aclareo de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales -----	49
Cuadro 7 Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica y ancho de anillos, de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales -----	50
Cuadro 8 Comparación de medias antes y después del aclareo para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de la calidad de sitio alta de rodales naturales -----	52
Cuadro 9 Comparación de medias antes y después del aclareo para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de la calidad de sitio baja de rodales naturales -----	52

Cuadro 10	Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de una plantación -----	58
Cuadro 11	Comparación de medias antes y después del aclareo para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de una plantación -----	62
Cuadro 12	Coefficientes de Correlación de Pearson, N = 240 Prob > Irl Ander H0: Rho = 0. -----	66
Cuadro 13	Valores encontrados de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación) -----	67
Cuadro 14	Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación) -----	70
Cuadro 15	Comparación de medias entre sitios para la densidad básica y ancho de anillos, de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación) --	71
Cuadro 16	Comparación de medias antes y después del aclareo de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación) -----	73

## ÍNDICE DE FIGURAS

		PAG.
Figura 1	(A) Dispersión del ancho de anillos y (B) densidad básica de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural para la calidad de sitio alta -----	33
Figura 2	(A) Dispersión del ancho de anillos y (B) densidad básica de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural para la calidad de sitio baja -----	34
Figura 3	Relación de la densidad básica con el ancho de anillos, en la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja -----	38
Figura 4	Relación de la densidad básica con el porcentaje de madera tardía, de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja -----	41
Figura 5	Grado de asociación entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía, de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja -----	42
Figura 6	Relación de la densidad básica con el % de madera temprana, en la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja -----	45
Figura 7	Relación del ancho de anillos con el % de madera tardía, en la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja -----	48
Figura 8	Comportamiento de la densidad básica (A) y del ancho de anillos (B) de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de rodales naturales, en la calidad de sitio alta, antes y después del aclareo -----	54
Figura 9	Comportamiento de la densidad básica (A) y del ancho de anillos (B) de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de rodales naturales en la calidad de sitio baja, antes y después del aclareo -----	56
Figura 10	Comportamiento de la densidad básica (A) y ancho de anillos (B), antes y después del aclareo de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de una plantación -----	61

Figura 11	Relación entre ancho de anillos y densidad básica, antes y después del aclareo de la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., procedente de una plantación -----	66
Figura 12	Resultados del rodal natural y de la plantación, para la madera de <i>Pinus patula</i> Schl. et Cham., antes y después del aclareo en (A) densidad básica y (B) ancho de anillos -----	74

## 1. INTRODUCCIÓN

Dentro de las áreas de investigación realizadas en dasonomía, existen aquellas en donde se hace énfasis en la influencia de los tratamientos silvícolas sobre el incremento de volumen de una masa forestal, considerando la densidad de población como una forma de mejorar la composición y estructura de los bosques (Daniel *et al.*, 1982). Por otro lado, se encuentran investigaciones sobre tecnología de productos forestales enfocadas al conocimiento de las propiedades y características de la madera, y a detectar la variación existente entre partes de un mismo árbol, entre árboles o entre especies (Goche *et al.*, 2000). No obstante, es indispensable realizar investigaciones en donde se relacionen ambos tópicos, lo que permitirá generar información que podrá ser utilizada en el mejor manejo de los recursos forestales.

Dentro de las propiedades físicas de la madera, la densidad básica es probablemente la más estudiada por ser la que la caracteriza tecnológicamente, dado que presenta una acentuada correlación con las demás propiedades físicas y mecánicas (Díaz-Vaz y Ojeda, 1980; Fuentes, 1995; Jovanovski *et al.*, 2002), además de ser el indicador más usado para determinar la calidad de la madera (Dickson y Walker, 1997; Zhang, 1997). La densidad provee un índice de calidad de la madera relacionada con los usos finales, además, influye directamente en la dureza, en la calidad de la pulpa y en las propiedades del papel (Walker, 1993); varía fuertemente entre las especies, entre los árboles de

la misma especie y dentro de un mismo árbol (Zobel y Talbert, 1994); así mismo, es un parámetro a tomar en cuenta en los programas de mejoramiento genético, con vista al mejor uso de las procedencias y para la selección de individuos, dada la gran variación que a nivel individual presenta dicho carácter (Coronel, 1994).

Así mismo, la calidad del sitio y el manejo silvícola repercuten en gran medida en el comportamiento de la densidad básica de la madera, por lo que es importante conocer los siguientes factores: distribución de lluvias, temperatura, espaciamiento, aclareos y fertilización, entre otros. El conocimiento de éstos, puede servir para desarrollar masas forestales con una densidad básica menos heterogénea de la madera; el desconocimiento de los efectos de sitio y manejo puede conducir a la producción de madera que resulte inaceptable para el uso final señalado al momento de la plantación (Wright, 1999).

Se ha postulado que las prácticas silvícolas tienen algún efecto sobre las propiedades físicas de la madera, tal como lo demuestran las investigaciones realizadas desde el siglo pasado, por Zahner y Whitmore (1960) y Jackson (1968), entre otros, quienes estudiaron el efecto de los aclareos sobre la densidad básica de *Pinus taeda*. No obstante, en México este aspecto no ha sido estudiado con detalle. Por lo anterior, es muy importante conocer los factores silvícolas que influyen en el comportamiento de la densidad de la madera y conocer su relación en una especie de amplia utilización mundial y del mayor interés en México.

Al *Pinus patula* se le considera una de las especies coníferas con mayor potencial productivo en México, debido a sus altas tasas de crecimiento y a su manejo silvícola relativamente simple (Meza, 2003), es endémica de México, presenta una amplia variedad en diversas características de interés económico, incluida la densidad de la madera (Barnes *et al.*, 1994). El *Pinus patula* es la conífera mexicana más intensamente utilizada en regiones tropicales y subtropicales donde se ha establecido como especie exótica debido a su rápida adaptabilidad y tasa de crecimiento (Wright *et al.*, 1995). Se ha empleado para producir material celulósico, madera en rollo y es una de las primeras especies de pinos mexicanos plantada en Sudáfrica (Wormald, 1975; Perry, 1991). Actualmente se ha venido intensificando su uso en plantaciones, en varios países del mundo incluido México (Meza, 2003).

## 2. OBJETIVOS

1. Conocer la relación de la densidad básica de la madera con el ancho de anillos, porcentaje de madera tardía y madera temprana en dos calidades de sitio de rodales naturales, de *Pinus patula* en el estado de Hidalgo.
2. Estudiar como influye la aplicación de aclareos, sobre la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula*, proveniente de rodales naturales en dos calidades de sitio.
3. Evaluar la influencia de los aclareos sobre el comportamiento de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula*, proveniente de plantaciones.
4. Comparar el efecto del aclareo sobre la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* en las dos localidades estudiadas, rodal natural (madera madura) y plantaciones (madera juvenil).



### 3. REVISIÓN DE LITERATURA

#### 3.1. Descripción de la especie *Pinus patula* Schlechtendal & Chamisso

Al *Pinus patula* Schl. et Cham., se le conoce con los nombres comunes de: Ocote, peinador de neblina, pino, pino colorado, pino lacio y pino triste.

Se distribuye en los estados de Hidalgo, México, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Tlaxcala y Veracruz. Sin embargo, el área principal de distribución de *P. patula* está restringida a una franja de orientación NW a SE que pasa por los estados de Hidalgo, Veracruz y Puebla (Perry, 1991 y Velázquez *et al.*, 2004)

En su hábitat natural, *P. patula* se desarrolla entre 1 500 y 3 100 msnm y en latitudes que varían de 17° a 24° N. La mayoría de los árboles presentan fustes rectos y sin ramas hasta los 20 m de altura, lo cual hace que la especie sea altamente preferida para su explotación comercial (Barnes *et al.*, 1994).

*Pinus patula* alcanza alturas de hasta 40 m y diámetros a la altura del pecho de hasta 1 m; su corteza es escamosa, constituida por placas grandes y alargadas que se desprenden con facilidad, de color rojizo; en las ramas y en la parte superior del tallo tiene escamas caedizas de color café rojizo; presenta sus hojas en fascículos de 3 a 5, su longitud varía entre 15 y 30 cm y ancho entre 0.7 a 1 mm, son rectas, laxas y de color verde claro brillante. Los conos son solitarios o en verticilos de 2 o más, casi sésiles, persistentes, estrechamente ovoides u oblongos cuando están cerrados, con la base

asimétrica de 5 a 12 y 3 a 6.5 cm cuando abren; son de color café amarillento tornándose grises con la edad. La semilla es casi triangular de 4 x 2 a 6 x 4 mm, de color oscuro, con ala articulada de color más claro de 12 x 5 y 18 x 8 mm (Martínez, 1948; Farjon *et al.*, 1997).

El *P. patula* alcanza los mayores crecimientos sobre suelos profundos con buen drenaje, los suelos delgados, mal drenados y compactados limitan el crecimiento de la especie. La deficiencia de fósforo retarda el crecimiento y la de boro produce desórdenes en los troncos de los árboles. La presencia de una vegetación ajena abundante ya sea arbórea, arbustiva o herbácea impide o retarda la regeneración natural (Brosovich, 1998).

De acuerdo a lo reportado por Vela (1980), los árboles de *P. patula* tienen un sistema radical profundo y poco extendido lo que permite elevadas densidades en el bosque y que su crecimiento en altura empiece a detenerse entre los 30 y 35 años de edad, que es cuando llega a su máximo crecimiento y puede alcanzar un incremento corriente anual (ICA) de 28 m<sup>3</sup> por hectárea.

La madera de esta especie es ampliamente utilizada en productos celulósicos, pisos, construcción en general, acabados de interiores y exteriores, estructuras, armaduras, madera aserrada, triplay, chapa, postes para servicios públicos, durmientes, vigas, columnas, caja y empaques (Pérez y Olvera, 1981).

### **3.2. Descripción macroscópica de la madera de *Pinus patula***

La madera no presenta diferencia de color entre albura y duramen, la madera temprana es castaña clara y amarillenta y la tardía castaña muy pálida; no tiene olor ni sabor característicos; tiene brillo bajo y veteado pronunciado dado por los anillos de crecimiento; la textura es de fina a media y su hilo es recto. Los anillos de crecimiento se encuentran perfectamente delineados por una banda oscura de madera tardía y una banda clara de madera temprana, su anchura es homogénea, la madera temprana ocupa más de la mitad del total del anillo, la transición de madera temprana a madera tardía es gradual. Los radios son visibles a simple vista en la cara transversal, y presenta canales resiníferos (Huerta, 1978).

### **3.3. Descripción microscópica de la madera de *Pinus patula***

Las traqueidas son largas, con diámetro tangencial del lumen mediano y con pared celular muy delgada en la madera temprana, y de diámetro tangencial del lumen fino y pared celular delgada en la madera tardía; sus caras radiales presentan una hilera de punteaduras areoladas; los radios son de tipo homogéneo, poco numerosos y muy bajos; los que no presentan canal son uniseriados y los que lo presentan son fusiformes de 2 a 3 series en la parte cercana al canal; en los campos de cruzamiento se ven de 1 a 3 punteaduras de tipo pinoide; las traqueidas de radio presentan bordes dentados; los canales longitudinales son poco numerosos por  $\text{mm}^2$ , el parénquima axial se encuentra ausente (Huerta, 1978).

### 3.4. Efectos de los aclareos sobre las propiedades de la madera

Los aclareos se realizan entre otras cosas para mejorar la estructura del rodal, eliminando los individuos con características no deseables que compiten por espacio y nutrientes, y que puedan poner en peligro el desarrollo de árboles con buenas características forestales, así como incrementar el volumen útil en la corta final (Smith *et al.*, 1997). Para la consecución de un crecimiento óptimo de rodales y la obtención de productos aceptables, es necesario mantener la densidad correcta de árboles mediante la aplicación de aclareos (Becerra *et al.*, 1988). Entre los beneficios que los aclareos ofrecen al bosque, se menciona un aumento en la calidad de la madera cuando se aplica un aclareo por lo bajo, al eliminar los árboles no deseados (Álvarez y Varona, 1988), y porque en la corta final se cosechan los mejores ejemplares (Musálem y Fierros, 1996).

Al evaluar diferentes espaciamientos de plantación, y efecto de aclareos en la densidad de la madera de *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. Savill y Sandels (1983) encontraron que el efecto de los aclareos sobre la densidad básica de la madera, se presenta en la madera madura, mientras que la densidad de plantación tiene su efecto en la madera juvenil.

Markstrom *et al.* (1983), mostraron que los aclareos realizados en *Pinus ponderosa* no presentaron efecto alguno sobre la densidad básica, porcentaje de madera tardía, longitud de traqueidas y ángulo microfibrilar, al no encontrar diferencias estadísticamente significativas, coincidiendo con lo reportado por

Moschler *et al.* (1989) para la densidad básica de *Pinus taeda* L. después de aplicado el aclareo, sin embargo, mencionan que la pequeña variación encontrada en los valores numéricos, puede afectar la calidad de pulpa lo que repercutirá en las propiedades del papel.

Jozsa y Brix (1989) en *Pseudotsuga menziesii*, encontraron que la densidad básica fue ligeramente menor en árboles a los que se les aplicó aclareos en comparación con lo que reporta la literatura para árboles no aclareados; lo que coincide con lo encontrado por Szymanski y Tauer (1991) en donde se muestra una ligera disminución en la densidad básica a la edad de 18 y 20 años, que lo atribuyen a un aclareo realizado a la edad de 17 años y a una disminución temporal en el porcentaje de madera tardía en relación a la madera temprana. Por otro lado, Brazier y Mobbs (1993) al estudiar la estructura de la madera de *Picea sitchensis*, observan que los aclareos disminuyen la presencia de madera juvenil en rodales de la misma edad.

Barbour *et al.*, (1994) evaluaron la densidad básica en *Pinus banksiana*, encontrando que al año siguiente de haber aplicado el aclareo, esta propiedad física aumenta para después disminuir a lo largo de la primera década, y posteriormente tiende a mantenerse constante, mientras que el ancho de anillos en la primera década tiende a aumentar para después tener una ligera tendencia a disminuir y estabilizarse, lo que está muy relacionado con la proporción de madera tardía, ya que tiene un comportamiento inverso al presentado por la densidad básica.

Koga *et al.*, (1994) estudiaron el efecto de dos intensidades de aclareo (uno fuerte y otro ligero), comparadas con un testigo, no encontraron ningún efecto sobre la densidad básica y longitud de traqueidas, en plantaciones de *Japanese larch*, con edades de 23, 34 y 38 años, respectivamente, no obstante, Koga *et al.*, (1996) evaluaron la influencia de dos intensidades de aclareo y una parcela sin aclarear sobre las propiedades de la madera de karamatsu (*Larix leptolepis*), en este estudio encuentran que la densidad básica no se ve afectada por los tratamientos, mientras que el ancho de anillos sí presenta un efecto por la intensidad del aclareo, ya que se presentó un incremento notable en ancho de anillos en la parcela donde se aplicó el aclareo fuerte.

Stephan y Liesebach (1995), evalúan la madera de *Pinus contorta*, proveniente de dos aclareos, uno realizado en 1975 y otro en 1980, encontrando un incremento en los valores de la densidad básica de 1980 comparada con los resultados presentados en 1975; por otro lado, al evaluar el ancho de anillos, encontraron un incremento en el ancho de anillos después de cinco años; la correlación entre ancho de anillos y densidad básica fue negativa ( $r = -0.35$ ), en otras palabras, al incrementar el ancho de anillos disminuye la densidad básica y viceversa. Se encontraron anillos de crecimiento anchos en árboles jóvenes, mientras que los árboles maduros presentaron anillos de crecimiento angostos.

Lindström (1996), reporta que las prácticas silvícolas intensas transforman a la madera obtenida de los bosques de Suecia, indicando que el

uso final de los productos derivados del bosque, dependen grandemente de la longitud y diámetro de traqueidas, ángulo microfibrilar y densidad básica, los cuales se ven afectados por la intensidad de las actividades silvícolas; esto lo comprobó mediante un modelo donde incluyen las condiciones de crecimiento, calidad de sitio, densidad inicial, aclareos, clase de árboles y clima, encontrando que estas actividades influyen en el desarrollo de la densidad básica; y concluye que el desarrollo de la copa y la calidad de sitio afectan de una manera considerable a los valores de la densidad básica; al respecto, se han generado modelos que permiten predecir la densidad de la madera a partir de las tasas de crecimiento evaluadas con el ancho de los anillos, alcanzando una alta precisión sin la necesidad de realizar pruebas de laboratorio (Dutilleul *et al.*, 1998).

Loranca *et al.*, (1996) estudiaron árboles provenientes de una reforestación de *Pinus sylvestris*, donde se aplicó un aclareo con dos intensidades de corta una de 60 y otra de 62 %, encontraron que con ambas intensidades, se presentaron diferencias significativas en el incremento en el ancho de los anillos de crecimiento, sin embargo, estos incrementos no influyeron en el porcentaje de madera tardía y densidad básica, ya que estas no presentaron diferencias significativas después del aclareo.

Hernández *et al.*, (1996) analizaron la influencia de los aclareos sobre la relación madera temprana-madera tardía y la densidad de la madera de *Pinus patula*, y concluyen que a pesar del efecto de los aclareos sobre las

características de los anillos de crecimiento, la asociación entre la densidad de la madera y estas características no se modificaron después de los aclareos.

Hannrup *et al.*, (1998) al analizar el efecto que los aclareos tienen sobre el diámetro, la altura en el árbol y la densidad básica de *Pinus sylvestris* L., encuentran que la densidad básica disminuye después de aplicado el aclareo, además encontraron correlaciones bajas entre la densidad básica, diámetro y la altura en el árbol.

Tasissa y Burkhart (1998), evalúan el efecto de los aclareos sobre, la densidad básica de los anillos de crecimiento de *Pinus taeda*, aplicando dos niveles de aclareos 30 y 50 % de área basal removida, no encontrando diferencias estadísticas ya que no fue significativo el efecto de los tratamientos de aclareo sobre la densidad básica de la madera de la especie estudiada, no obstante, concluyen que aclareos por arriba del 50 % de área basal removida pueden tener efectos limitados sobre la densidad básica.

Pape (1999a), evalúa el efecto de los aclareos en *Picea abies* (L) Karst., encuentra que los aclareos ligeros no influyen sobre la densidad básica, comparado con los aclareos fuertes los cuales ocasionan una disminución en la densidad básica, lo que probablemente se deba a la competencia entre árboles y a la diferenciación de la copa. Reporta que un aclareo por lo alto ocasiona un aumento en la densidad básica, atribuyéndolo a una disminución en el ancho de los anillos de crecimiento después de aplicado el aclareo. En general los



aclareos disminuyen la presencia de madera juvenil en los sitios donde se realizan.

Pape (1999b), estudia la influencia de los aclareos sobre las propiedades de la madera de *Picea abies*, encuentra que los aclareos ligeros no presentaron ninguna influencia sobre los valores encontrados de densidad básica y ancho de anillos, mientras que, el aclareo fuerte (intensidad de 40 % de área basal removida), sí influyó en los resultados encontrados en las propiedades antes mencionadas. Al analizar los tipos de aclareo, se encontró que el aclareo por lo alto da como resultado un incremento en la densidad básica y una disminución en el ancho de anillos, presentando un comportamiento inverso al aplicar un aclareo por lo bajo. Concluyendo que las diferencias en la densidad básica encontrada se deben a la disminución del ancho de anillos de crecimiento.

Xu *et al.*, (2002) aplicaron tres intensidades de aclareo y un testigo (50, 33.3, 16.5 y 0 %) en árboles de 10 años de edad de *Pinus elliotii*, después de siete años evaluaron los sitios, encontrando que en el sitio donde se aplicó la intensidad de 50 % los árboles presentaron un incremento en el porcentaje de madera tardía y en la densidad básica, y se obtuvieron valores aceptables de los módulos de ruptura y de elasticidad, concluyendo que los aclareos con una intensidad del 50 % es la mejor opción para obtener madera de *Pinus elliotii* para la construcción.

Koga *et al.*, (2002) evalúan el efecto que el aclareo precomercial presenta sobre ancho de anillos y densidad básica de la madera de *Abies balsamea* (L.) Mill., encontrando que el ancho de anillos muestra una respuesta positiva al aclareo precomercial, presentándose este efecto principalmente en el ancho de la madera temprana, mientras que el ancho de la madera tardía no mostró un efecto significativo; por otro lado, la densidad básica de cada uno de los anillos de crecimiento, tiende a disminuir cuando disminuye el porcentaje de madera tardía, reduciendo la variabilidad de la densidad entre anillos de crecimiento, esto se observa mas frecuentemente en los aclareos moderados, lo que puede ocasionar una madera más uniforme.

Jaakkola *et al.*, (2005) estudiaron el efecto del aclareo sobre el crecimiento y densidad de la madera en *Picea abies* (L) Karst, en dos parcelas experimentales en el sureste de Finlandia. Se evaluaron tres intensidades de aclareo, baja, normal y alta. Las intensidades de aclareo normal y alto dieron como resultado una pequeña reducción de 1 a 4 % en la densidad promedio comparada con la baja intensidad de aclareo. Alrededor del 27 % de la variación total en la densidad de la madera estuvo relacionada con la variación entre anillos. Este trabajo muestra que las intensidades de aclareo en sitios de *Picea abies* no causan cambios en la densidad de la madera.

Zhang *et al.* (2006), en su estudio sobre *Pinus banksiana* Lamb, al aplicar un aclareo precomercial de tres intensidades, baja (1.22 m × 1.22 m), moderada (1.52 m × 1.52 m), y un aclareo fuerte (2.13 m × 2.13 m), encontraron que los

aclareos con intensidad baja y moderada no tuvieron efecto sobre el incremento en volumen, ni las propiedades de la madera, mientras que el aclareo fuerte tuvo un incremento en diámetro, y las propiedades tecnológicas de la madera disminuyeron, en un 25 % comparadas con las del testigo y los aclareos ligeros.

### **3.5. Comparación de la densidad básica proveniente de plantaciones y rodales naturales**

Louga *et al.*, (1994) al comparar la densidad básica de la madera de tres especies de *Cupressus* de cinco procedencias, no encontraron diferencias significativas entre procedencias, sin embargo, al comparar los valores de densidad básica obtenidos de plantaciones éstos presentaron valores más bajos comparados con los obtenidos de rodales naturales.

Johansson *et al.*, (1997) estudiaron la variación radial en la densidad básica de *Picea abies* de árboles provenientes de plantaciones y de regeneración natural, no encontrando diferencias significativas entre los árboles provenientes de ambos orígenes.

Johansson y Persson (1997) estudiaron las características de la madera proveniente de una plantación y de una regeneración natural de *Picea abies*, no encontrando diferencias significativas en la densidad básica de ambos sitios; al evaluar el ancho de anillos se observó que fueron más angostos en la regeneración natural, y la variación radial en la densidad básica fue más baja en

los sitios de regeneración natural; por último, evaluaron los primeros cinco anillos cercanos a la medula y encontraron valores de la densidad básica más altos en los árboles provenientes de la regeneración natural que en los provenientes de plantaciones.

Jin *et al.*, (2001) evaluaron varias propiedades de la madera, entre ellas la densidad básica de *Pinus densiflora* en árboles provenientes de plantaciones y de bosques naturales, encontrando diferencias en la densidad básica entre ambos sitios.

### **3.6. Relación de la densidad básica con ancho de anillos y porcentaje de madera tardía**

La mayor variación de densidad ocurre dentro de un anillo de crecimiento anual, debido a que en las diferentes especies de pinos se presentan diferencias muy acentuadas entre la madera temprana y la madera tardía (Daniel *et al.*, 1982). Al respecto Zobel y Van Buijtenen (1989) demostraron que la densidad de la madera temprana de pinos del sur de Estados Unidos, presenta un rango de variación de 0.30 a 0.46 g cm<sup>-3</sup>, mientras que la densidad de la madera tardía lo presenta de 0.65 a 0.92 g cm<sup>-3</sup>.

La cantidad de árboles por hectárea es un parámetro importante que influye en el ancho de anillos, lo que repercute de manera indirecta en la proporción de madera tardía presente en un anillo de crecimiento, e influye así de manera importante en la densidad básica de la madera (Daniel *et al.*, 1982).

Choong, *et al.*, (1989) encontraron en *Pinus palustris* Mill., y *Pinus elliottii* Engelm, que la madera tardía da como resultado una madera más densa comparada con la madera temprana, lo que contribuye a que la densidad básica sea más alta en la madera tardía comparada con la que presenta la madera temprana.

El ancho de anillos es un índice que se toma en cuenta para determinar la velocidad de crecimiento de los árboles. Por otra parte, la relación entre el ancho de anillos de crecimiento y la densidad básica, es discutida frecuentemente en la bibliografía. Para la mayoría de las coníferas, la densidad básica aumenta con la disminución del ancho de anillos de crecimiento, puesto que cuanto más ancho es el anillo se tiene más madera temprana formada (Coronel, 1994).

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).

Krahmer (1966) menciona que la densidad está muy relacionada con el ancho de anillos de crecimiento, ya que a medida que ésta aumenta disminuye el ancho de anillos. Por otro lado, Wright y Malan (1991), le incluyen el porcentaje de madera tardía presente en los anillos de crecimiento, que lo relacionan con un aumento en la densidad básica, coincidiendo con Kort *et al.* (1991), quien además en su estudio de *Pseudotsuga menziesii*, menciona que dicho factor explica un 60 % de la variación presente en la madera. Al respecto Valencia (1994), menciona que un factor importante en el comportamiento de los anillos de crecimiento, la densidad básica y el porcentaje de madera tardía está influenciado por la edad del arbolado.

Beckwith y Shackelford (1976), mencionan que la copa influye de manera importante en la formación de la madera, ya que un alto crecimiento de la copa estimula la elongación de las células, dando como consecuencia anillos amplios y con altos porcentajes de madera temprana; contrariamente, un bajo crecimiento de la copa da como resultado una baja producción de células pequeñas, originando anillos angostos con un alto porcentaje de madera tardía.

DeBell *et al.*, (1994) encontraron una correlación negativa entre el ancho de anillos y la densidad básica, presentando una correlación altamente significativa ( $p = 0.00004$ ) y explican el 39 % de la variación en la densidad básica. Los valores encontrados en la densidad básica disminuyeron de 0.47 a 0.37 g cm<sup>-3</sup> mientras que el ancho de anillos de crecimiento promedio incrementa de 2 a 8 mm. La disminución del porcentaje de madera tardía es la

primera razón para que disminuya la densidad básica con un incremento en ancho de anillos.

Wimmer (1995), encontró que la proporción de madera tardía está altamente correlacionada con la densidad básica de la madera, generando un modelo estadístico, que permite estimar la densidad básica con base en el porcentaje de madera tardía, aclarando, que el modelo funciona para madera normal ya que no fue probado en madera de compresión o en madera rica en extractivos.

Yin *et al.*, (1996) mencionan que la variación presente en la madera de *Picea mariana* se debe a las condiciones del medio ambiente, que influyen en la tasa de crecimiento de los anillos, quienes a su vez repercuten en la disminución de la proporción de madera tardía presente en un anillo de crecimiento lo que influye para que la densidad básica disminuya.

Simpson y Denne (1997) estudiaron tres diferentes espaciamientos en *Picea sitchensis* (Bong.) Carr. no encontrando diferencias significativas entre tratamientos, observando que lo que influyó fue la posición del anillo dentro del árbol, ya que los anillos cercanos a la medula fueron más amplios, haciéndose más angostos conforme se acercaron a la corteza; con respecto a la relación entre densidad básica y ancho de anillos reportan que la densidad básica disminuye cuando incrementa el ancho de anillos, lo anterior coincide con lo que reporta Zobel y Buijtenen, (1989) quienes mencionan que la densidad de la

madera esta fuertemente influenciada por la cantidad de madera temprana y tardía presente en un año, generalmente la madera temprana presenta una baja densidad básica, mientras que la madera tardía tiene una alta densidad básica.

Rozenberg *et al.*, (2000) encontraron que en *Picea abies* el ancho de anillos presenta una alta relación con la densidad básica y explica en mayor grado la variación de la densidad básica, mientras que en *Pseudotsuga menziesii*, esta variación se atribuye a factores genéticos.

Pérez *et al.*, (2000) encontraron que en *Pinus taeda*, existen correlaciones negativas y altas entre ancho de anillos y densidad básica, mostrando que a mayor ancho de anillos menor densidad básica y viceversa, a menor ancho de anillos mayor densidad básica, lo cual lo atribuyen a la madera adulta y a un mayor porcentaje de madera tardía. Con respecto a la relación entre densidad y porcentaje de madera tardía, ésta fue positiva, ya que la mayor densidad se encuentra en la zona de madera madura que contiene un mayor porcentaje de madera tardía.

Kumar (2002), estudió la densidad básica en los componentes de un anillo de crecimiento, considerando la madera temprana, la tardía y el porcentaje de madera tardía en *Pinus radiata*, con la finalidad de conocer la correlación genética existente entre los componentes del anillo de crecimiento y la densidad básica, encontrando una ligera ganancia en la determinación de los parámetros genéticos al separar los componentes del anillo de crecimiento.



Jovanovski *et al.*, (2002) al relacionar la densidad básica con el ancho de anillos de *Pinus ponderosa*, no encontraron una relación significativa entre ambos parámetros estudiados. Además se observa que para anchos de anillo pequeños corresponden densidades básicas elevadas, este fenómeno y la baja correlación encontrada pueden atribuirse a las variaciones en la densidad de la madera temprana y tardía, y las distintas proporciones de madera temprana en el ancho del anillo.

Koga y Zhang (2002) no encuentran en la madera de *Abies balsamea* una correlación entre ancho de anillos y densidad básica ni en madera juvenil ni en madera madura, aunque se observa una débil correlación negativa en la madera madura por lo que mencionan que esta relación en esta especie puede variar con la edad cambial.

Wimmer y Downes (2003), en su estudio sobre la relación entre el ancho de anillos y la densidad básica de la madera de *Picea abies*, encontraron que los anillos angostos están relacionados con una densidad básica alta, mientras que los anillos de crecimiento amplios presentan una densidad básica menor, con lo cual ellos concluyen que el ancho de los anillos sí influyen sobre la densidad básica de la madera.

Debell *et al.*, (2004) estudiaron la relación de la densidad básica con el ancho de anillos en *Tsuga heterophylla* (Raf.) Sarg., encontrando que la densidad de la madera disminuye conforme se incrementa el ancho de anillos.

Esta reducción es muy grande en edades tempranas, a la edad de 1 a 5 años la tasa de crecimiento explica alrededor del 37 % de la variación de la densidad, conforme pasa el tiempo esta relación disminuye, de los 6 a los 10 años fue de 29 %, de los 11 a los 15 de 20 %, y alrededor de los 30 años fue entre 9 y 13 %; después de esta edad el ancho de anillos y la densidad básica, no presentan una relación significativa.

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).

Renninger *et al.*, (2006) mencionan que la relación entre densidad básica y ancho de anillos de crecimiento dependen de los cambios que se presentan en la densidad de la madera temprana, densidad de la madera tardía y la proporción de madera tardía, .así mismo, encuentran una relación negativa entre densidad básica y ancho de anillos de crecimiento.

## 4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 4.1. Fase de campo

#### 4.1.1. Características y localización de los bosques naturales

El material proveniente del bosque natural se colectó en dos rodales de *Pinus patula* localizados en dos sitios de estudio, establecidas por Brosovich en 1998. Los sitios presentan calidad de estación diferente, el primero es de calidad de estación alta ( $IS_{50} = 28$  m) pertenece a una clase de sitio I, se localiza en el ejido “El Reparó”, municipio de Zacualtipán ( $20^{\circ} 37' 33''$  LN,  $98^{\circ} 58' 38''$  LO). El segundo presenta calidad de estación baja ( $IS_{50} = 20$  m), pertenece a una clase de sitio IV, se ubica en el paraje “El Aguaje”, municipio de Metzquititlán ( $20^{\circ} 33' 58''$  N,  $98^{\circ} 33' 26''$  O).

Ambos rodales naturales se localizan en la provincia fisiográfica “Sierra Madre Oriental” de la subprovincia “Sierra de Zacualtipán” estado de Hidalgo, México, y se caracterizan por presentar una topografía accidentada con pequeñas mesetas en las partes altas. La zona bajo estudio exhibe una topografía ondulada con una pendiente media de 12%, con una alta humedad relativa y escasa erosión del suelo (Brosovich, 1998).

El área de estudio presenta un clima del tipo Cm, templado-húmedo con abundantes lluvias en verano y un porcentaje de precipitación invernal mayor del 5 %, con una precipitación del mes más húmedo de 40 mm. La precipitación

media anual es de 1901.9 mm con la máxima presente en el mes de septiembre de 496.7 mm y la mínima en febrero con 41.1 mm. La temperatura media anual es de 12.7 °C, con la máxima extrema de 38.5 °C y la mínima extrema de -10 °C (García, 1987; INEGI, 1988).

Los suelos que se encuentran en el área de estudio son profundos y de buen drenaje, texturas medias y alto contenido de materia orgánica. De acuerdo a la clasificación de la FAO-UNESCO, los suelos que predominan en el área de estudio son luvisol crómico, feozem haplico, regosol eutrico y cambisoles en menor extensión (INEGI, 1988).

#### **4.1.2. Características y localización de la plantación**

El material proveniente de plantaciones se colectó en una plantación pura de *Pinus patula* realizada por Luz y Fuerza del Centro, ubicada en la ribera de la presa “El Tejocotal” entre las coordenadas geográficas de 98° 08’ 07” de Longitud Oeste y 20° 07’ 25” de Latitud Norte, en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo.

El municipio de Acaxochitlán se encuentra posicionado en la región del Pánuco en la cuenca del Río Moctezuma; y en la región Tuxpan-Nautla en las cuencas del Río Tecolutla y el Río Cazones. Las corrientes de agua que conforman el municipio son: Las Cruces, Santa Félix, Tenejate, Huitzilín,

Texcapo, Nepupualco, Hueyatenco, Acocolca, Romerillos, Santa Catarina y Omiltepec. Además de contar con la presa El Tejocotal, Omiltepec y Santa Ana.

Se presenta una gran diversidad de climas, sin embargo, el que prevalece es el templado húmedo con abundantes lluvias en verano, principalmente en las localidades del centro de esta región como es Santa Catarina, San Miguel, Zacacuautla, San Mateo, entre otras. Su temperatura media anual se encuentra en los 15° C y su precipitación pluvial es de 1 000 a 2 000 mm.

#### **4.1.3. Tratamientos silvícolas previos en los sitios de estudio**

En el sitio “El Reparó” ( $IS_{50} = 28$  m) se aplicó un aclareo en 1997 sobre una superficie de 29 ha, que presentó un área basal original de 8.18 m<sup>2</sup>/ha. Se eliminó una área basal de 1.27 m<sup>2</sup>/ha, con la aplicación de una intensidad de corta de 15 %. De un número inicial de 44 ind/ha fueron eliminados 7 ind/ha, y removido un volumen de 26.2 m<sup>3</sup>/ha rollo.

En el sitio “El Aguaje” ( $IS_{50} = 20$  m) el aclareo se llevó a cabo en 1999, en una superficie de 6 ha, presentando un área basal de 19.87 m<sup>2</sup>/ha. Se eliminó una área basal de 4.08 m<sup>2</sup>/ha, con la aplicación de una intensidad de corta de 20%. De un número inicial de 181 ind/ha se eliminaron 37 ind/ha, y removido un volumen de 47.1 m<sup>3</sup>/ha rollo. En los dos sitios se aplicaron aclareos por lo bajo.

En el sitio de la plantación conocido como “Las 30 hectáreas”, se aplicó un aclareo en el año 2000 con una intensidad de corta del 10 %. Esta área no se encuentra bajo manejo, por lo cual no se proporcionaron los datos de área basal existente y removida.

#### **4.1.4 Colecta del material en el bosque natural y en la plantación**

En cada uno de los sitios de bosque natural El Reparó y El Aguaje, se seleccionaron 20 árboles en forma aleatoria, representativos de la masa forestal, con un diámetro promedio de 50 cm, altura promedio de 22 m y una edad aproximada de 65 años, para la calidad de estación alta (El Reparó). Un diámetro promedio de 45 cm, altura promedio de 22 m y una edad aproximada de 58 años en la calidad de estación baja (El Aguaje).

En el sitio conocido como “Las 30 hectáreas” de la plantación, se muestrearon 20 árboles, seleccionados en forma aleatoria y representativos de la masa forestal, con edades aproximadas de 18 años, altura promedio de 16 m y un diámetro promedio de 25 cm.

En cada uno de los árboles seleccionados de todos los sitios muestreados; se obtuvieron cilindros de madera mediante un taladro de Pressler de 12 mm de diámetro, a una altura de 1.30 m. Los cilindros de madera colectados fueron colocados en recipientes con agua para mantenerlos saturados.

## **4.2. Fase de laboratorio**

### **4.2.1. Identificación del aclareo**

En cada cilindro de madera se identificó el año de la realización del aclareo, mediante el conteo de los anillos de crecimiento iniciando en el último, y hasta llegar al año en donde se llevó a cabo esta práctica silvícola, identificando una zona previa y posterior a la aplicación del aclareo.

Con la finalidad de detectar el efecto del crecimiento en diámetro de los árboles como respuesta a la aplicación del aclareo, y evaluar la respuesta en el ancho de los anillos, se tomaron un número igual de anillos antes y después de la marca que definió el año de aplicación del aclareo, siendo el año de colecta quien definió el número de anillos a considerar en el estudio.

Dado que los tres sitios contaban con diferentes edades, diámetro, y año de aplicación del aclareo y para evitar considerar la presencia de madera juvenil en los anillos próximos a la médula, los anillos de crecimiento fueron seleccionados como se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Selección de los anillos de crecimiento con base en la aplicación de los aclareos, para cada uno de los sitios estudiados.

Localidad	Sitio	Número de anillos		
		Antes del aclareo	Después del aclareo	Total
Bosque Natural	El Reparó	5	5	10
	El Aguaje	3	3	6
Plantación	Las 30 hectáreas	4	4	8

#### 4.2.2. Determinación del porcentaje de madera tardía, ancho de anillos y densidad básica

Para obtener el porcentaje de madera tardía mediante un microscopio de incrementos, primero se midió el ancho de la madera temprana y el ancho total del anillo para cada probeta y todos los anillos, y por diferencia entre ambos valores, se determinó el ancho de la madera tardía. El porcentaje de madera tardía se obtuvo mediante la aplicación de la siguiente fórmula.

$$\%Mt = \frac{Mt * 100}{ATa}$$

Donde:

$\%Mt$  = Porcentaje de madera tardía

$Mt$  = Ancho de la madera tardía

$ATa$  = Ancho total del anillo



El ancho total de los anillos de crecimiento se determinó, utilizando un microscopio de incrementos, donde se identificó el inicio del anillo y la terminación de éste, registrándose la lectura que indicaba el ancho total de cada uno de los anillos de crecimiento.

Para la determinación de la densidad básica, se consideró cada uno de los anillos de crecimiento como una probeta. En cada una de las probetas se obtuvo el peso inicial, en una balanza analítica con precisión de milésimas. Posteriormente, las probetas se colocaron en una estufa de secado a una temperatura de  $100 \pm 2$  ° C, se hicieron mediciones periódicas hasta obtener un peso constante, el cual se consideró como peso anhidro; con estos datos y la densidad real de la madera, se obtuvo la densidad básica de la madera aplicando la fórmula propuesta por Smith (1954), la que se presenta a continuación.

$$Db = \frac{1}{\frac{P_i - P_o}{P_o} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

$Db$  = Densidad básica

$P_i$  = Peso inicial

$P_o$  = Peso anhidro

1.53 = Densidad real de la madera

### **4.3. Análisis estadístico**

En el análisis de la información recolectada, se consideraron dos variables dependientes: la densidad básica y el ancho de anillos, y se analizó el efecto del aclareo en dos calidades de sitio (alta y baja). Los datos se analizaron mediante un análisis de varianza de efectos fijos, utilizando el procedimiento MIXED de SAS (SAS Institute Inc., 1999), que es el más adecuado para conjunto de datos desbalanceados (Litell *et al.*, 1996). Para determinar el factor que más influyó en la densidad básica y el ancho de anillos, se realizó la comparación de medias mediante la prueba de la diferencia mínima significativa protegida por la prueba de F (Chew, 1976; Gómez y Gómez, 1984). Además, en el caso de los datos de la plantación, se incluyeron los coeficientes de correlación de Pearson.

## 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 5.1. Relación de la densidad básica de la madera con el ancho de anillos, porcentajes de madera tardía y madera temprana en dos calidades de sitio, en la madera procedente de rodales naturales

Los resultados encontrados al relacionar las variables densidad básica, ancho de anillos, porcentaje de madera tardía y madera temprana, se presentan en el Cuadro 2. Considerando todos los datos obtenidos, 920 para la calidad de sitio alta, y 841 para la calidad de sitio baja, se observa una correlación no significativa de la densidad básica con el ancho de anillos, para las dos calidades de sitio estudiadas. Por otro lado, en ambos sitios existe una correlación baja pero significativa, de la densidad básica con el porcentaje de madera tardía y madera temprana, positiva y negativa respectivamente, mostrando que la densidad es inversamente proporcional con el porcentaje de madera temprana.

Cuadro 2. Coeficientes de correlación de Pearson, entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía y temprana de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales.

Variables	Densidad básica	
	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja
Ancho de anillos	- 0.03319 <sup>NS</sup>	- 0.05574 <sup>NS</sup>
% de madera tardía	0.25364 *	0.28548 *
% de madera temprana	- 0.25364 *	- 0.28548 *

NS = No significativo, \* = Significativo con  $\alpha = 0.05$

En las Figuras 1 y 2 se presenta la dispersión de los valores de ancho de anillos y densidad básica para la calidad de sitio alta y baja, respectivamente, considerando todos los datos obtenidos en las mediciones. Con los cuales se obtuvieron las correlaciones mostradas en el Cuadro 2. En la Figura 1 A, se observa la gran variabilidad encontrada en el ancho de los anillos, con una desviación estándar de 3.13 y una amplitud de 30.96, donde se presentan datos dispersos que pueden tener alguna influencia sobre los resultados encontrados.

En la Figura 2 A, se presenta el diagrama de dispersión de ancho de anillos, donde se encuentra una desviación estándar de 1.74 y una amplitud de 14.73, lo que indica una menor variabilidad en los valores encontrados, con estos resultados se puede interpretar que al presentarse mejores condiciones de sitio, los árboles presentan una mayor variabilidad de crecimiento, lo que se ve reflejado en el ancho de los anillos.

En la Figura 1 y 2 B, se presentan los gráficos de dispersión de la densidad básica, para las dos calidades de sitio, encontrando para la calidad de sitio alta un valor de la desviación estándar de 0.0788 y de 0.0756 para la calidad de sitio baja, por otro lado, la amplitud encontrada para la calidad de sitio alta y baja fueron de 0.4342 y 0.4345, respectivamente. Con estos indicadores se puede concluir en que la densidad básica no se ve afectada por la calidad de sitio, ya que en ambas condiciones los indicadores son muy similares.

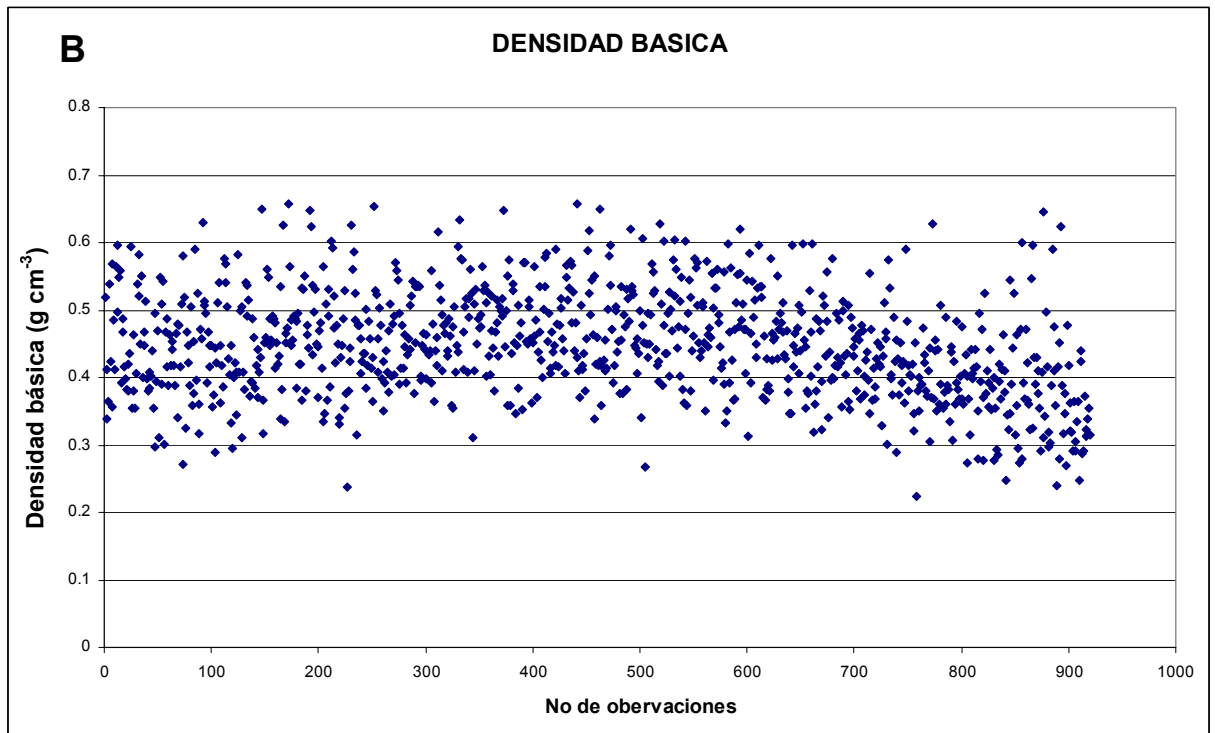
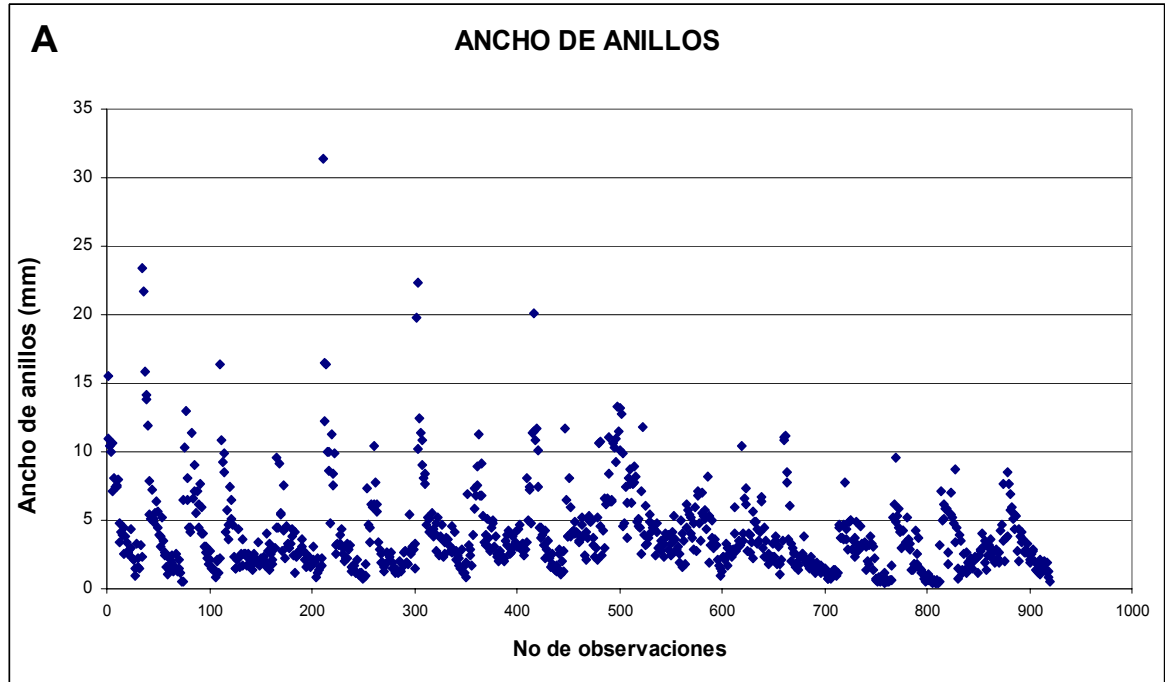


Figura 1. (A) Dispersión del ancho de anillos y (B) densidad básica de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural para la calidad de sitio alta.

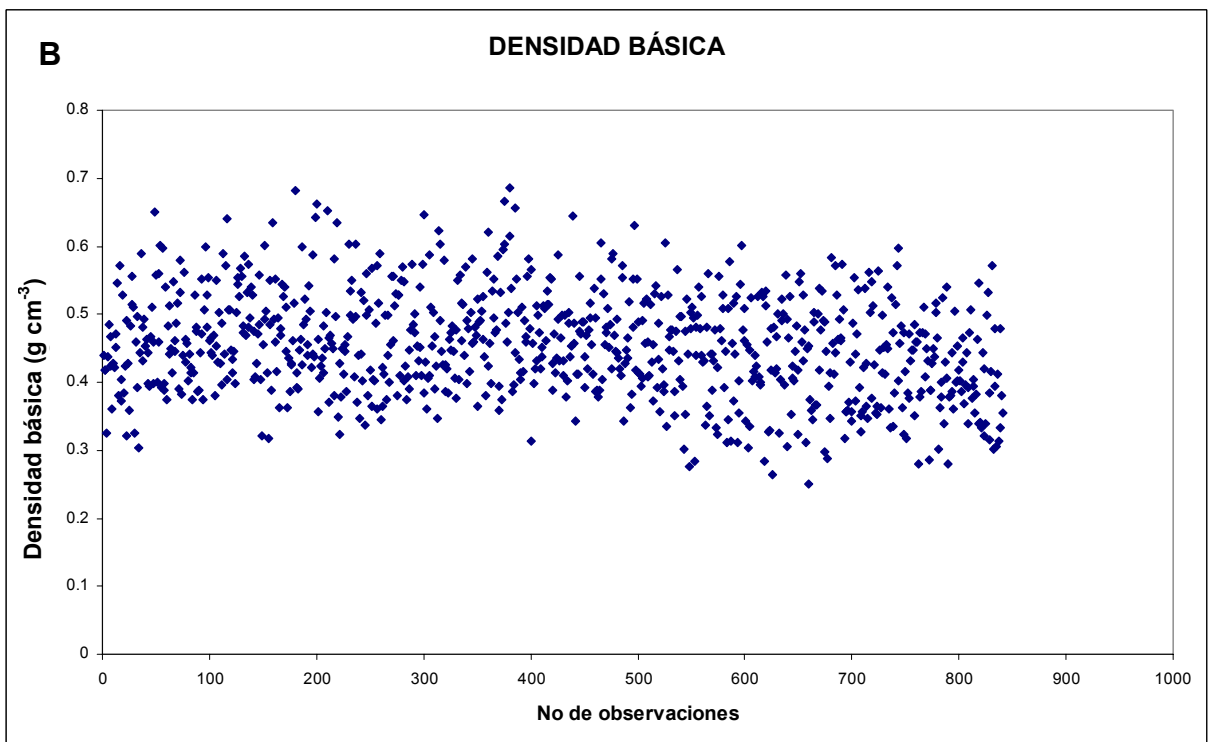
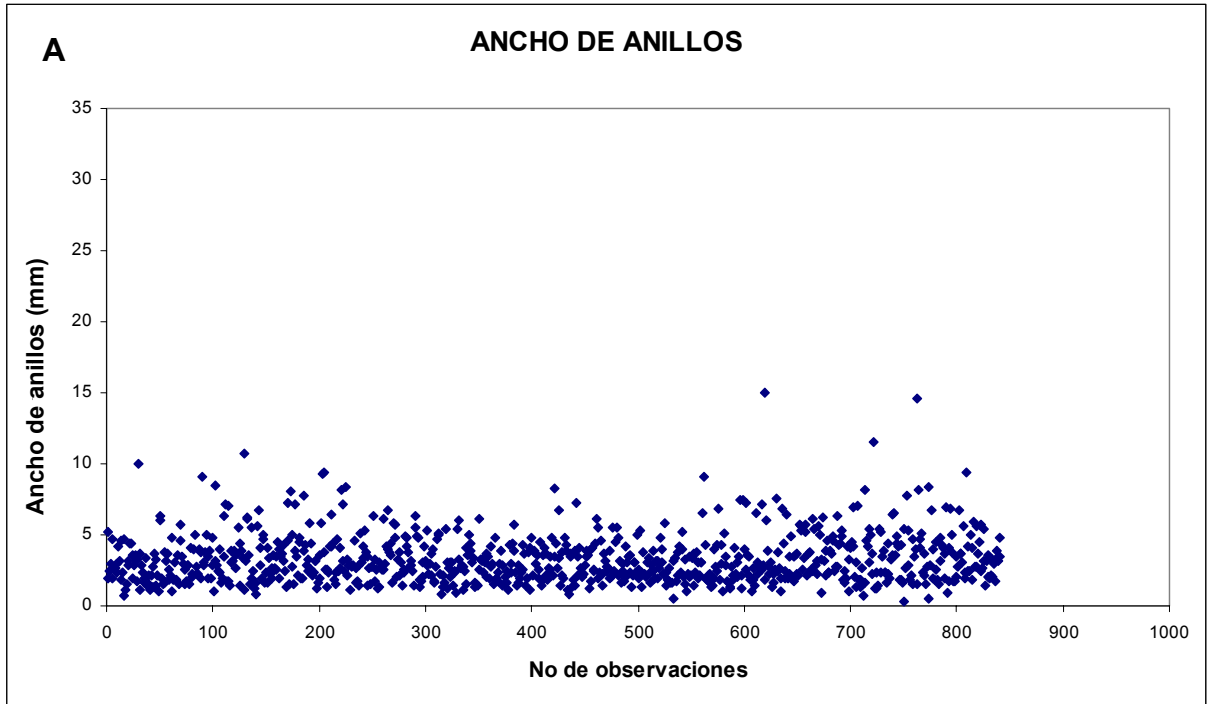


Figura 2. (A) Dispersión del ancho de anillos y (B) densidad básica de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural para la calidad de sitio baja.

En el Cuadro 3 se presentan datos generales que muestran los valores promedio, máximo y mínimo de las variables estudiadas, donde se observa la poca diferencia entre los valores promedio encontrados de densidad básica y ancho de anillos, en las dos calidades de sitio estudiadas.

Cuadro 3. Valores generales encontrados en la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía y temprana de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales.

Variables	Calidad de sitio alta			Calidad de sitio baja		
	Mínimo	Promedio	Máximo	Mínimo	Promedio	Máximo
Densidad básica (g*cm <sup>-3</sup> )	0.2242	0.4468	0.6584	0.2511	0.4544	0.6856
Ancho de anillos (mm)	0.41	3.96	31.37	0.3	3.27	15.03
% de madera tardía	3.95	30.59	78.88	9.15	27.66	50
% de madera temprana	21.11	69.40	96.04	50	72.33	90.84

Los resultados encontrados al realizar la correlación de las variables con los valores promedio de cada uno de los anillos de crecimiento, se presentan en el Cuadro 4; y al compararlos con los reportados en el Cuadro 2, se observan valores mayores de correlación de la densidad básica con las demás variables estudiadas en la calidad de sitio alta, mientras que para la calidad de sitio baja, los valores de correlación fueron muy similares a los reportados en el Cuadro 2. Con estos resultados se puede decir que la calidad de sitio puede ser un factor que influya en el comportamiento de correlación entre la densidad básica y las demás variables estudiadas.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación de Pearson, entre la densidad básica, ancho de anillos y porcentajes de madera tardía y temprana de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales, utilizando los valores promedio.

Variables	Densidad básica	
	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja
Ancho de anillos	- 0.44519	- 0.07565
% de madera tardía	0.73399	0.23712
% de madera temprana	- 0.73176	- 0.23712

#### 5.1.1. Relación densidad básica - ancho de anillos

Al realizar el gráfico de ancho de anillos con la densidad básica, se observa en la calidad de estación alta (Figura 3 A), una gran variabilidad en los primeros 20 anillos de crecimiento para las dos variables, lo que puede ser atribuido a la presencia de madera juvenil, ya que ésta se caracteriza por baja densidad, pared celular delgada, traqueidas cortas con lúmenes amplios, (Macdonald y Humbert, 2002). Sin embargo, a partir del anillo 20, se observa una clara tendencia de una relación inversa entre ambas variables, ( $r = -0.44519$ ), lo que coincide con lo reportado por Dutilleul *et al.* (1998) que encontraron una  $r = -0.53$  indicando que la correlación negativa entre la densidad básica y el ancho de anillos lo atribuyen al desarrollo de la copa, que es afectada por los tratamientos silvícolas. DeBell *et al.*, (1994) presentan una



$r = - 0.3900$ , encontrando que a menor ancho de anillos se obtienen densidades mayores. Concluyendo que la disminución en madera tardía es la primera razón para que disminuya la densidad básica cuando se presenta un incremento en ancho de anillos.

En la calidad de estación baja (Figura 3 B), el ancho de anillos no presenta ninguna tendencia que indique un comportamiento de los valores encontrados. Por otro lado, la densidad básica presenta una ligera tendencia a incrementar en dirección de la corteza; sin embargo, entre ambas variables no existe correlación de acuerdo al coeficiente encontrado ( $r = - 0.07565$ ), el cual no es estadísticamente significativo. Lo que puede ser atribuido al efecto de la calidad del sitio en el crecimiento de la especie, ya que de acuerdo a lo observado en la Figura 2 B, el ancho de anillos presenta una gran variabilidad durante su desarrollo, no así, la densidad básica la cual si presenta un patrón de variación definido, lo que puede ser atribuido a factores genéticos (Kumar, 2002).

La baja correlación entre la densidad básica y el ancho de anillos, encontrada en este trabajo, indica que el ancho de anillos no puede ser un indicador del comportamiento de la densidad básica, lo que coincide con lo encontrado por, Jovanovski *et al.* (2002), quienes lo atribuyen a las variaciones en la densidad básica de la madera temprana y tardía; al respecto Koga y Zhang (2002), predicen que a una mayor edad se puede incrementar la correlación entre ambas variables.

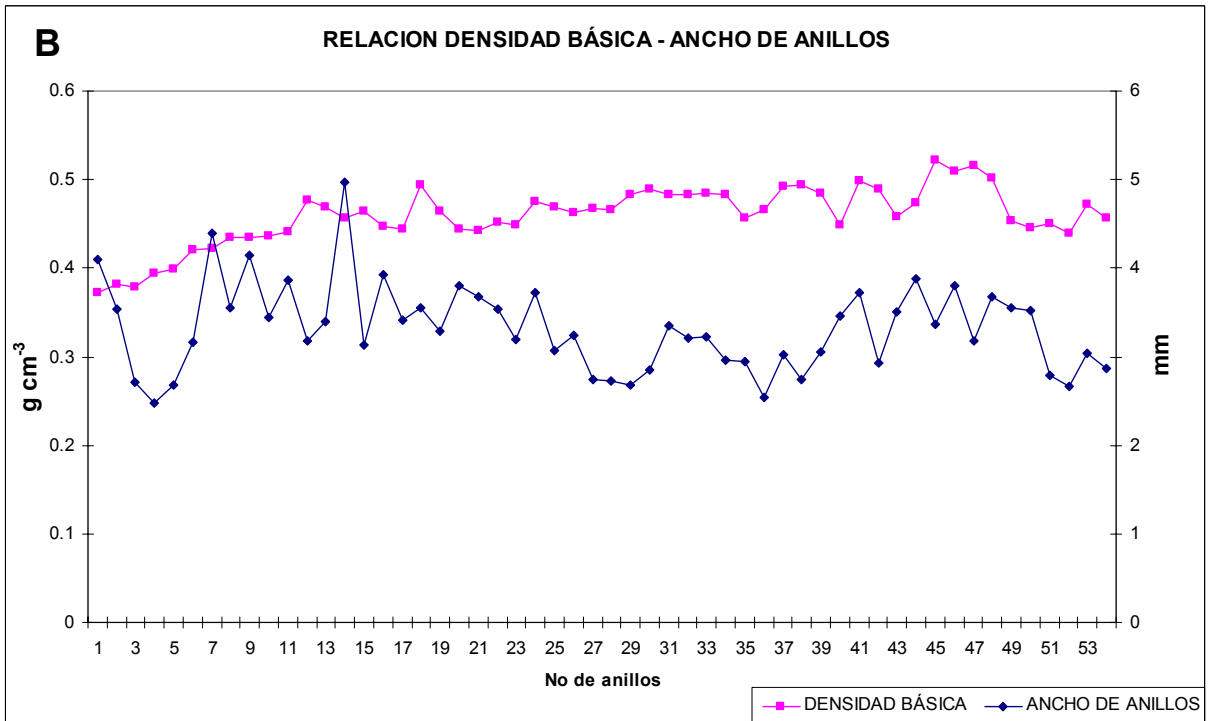
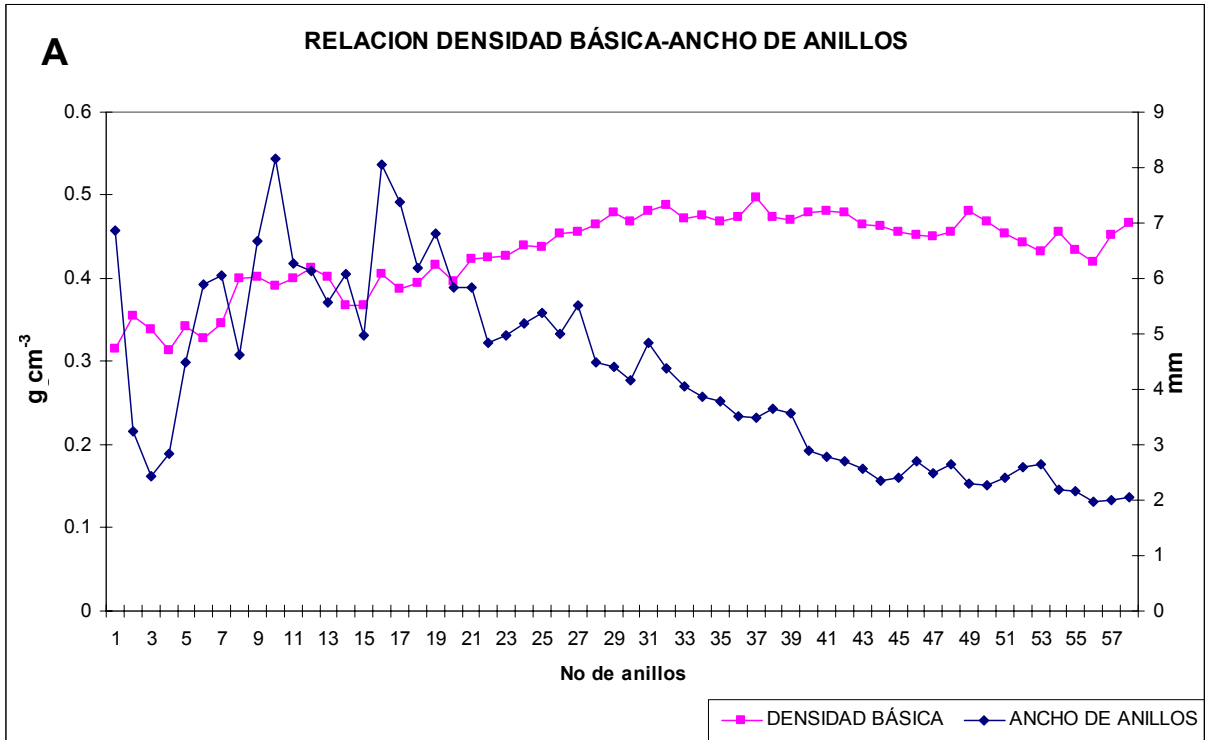


Figura 3. Relación de la densidad básica con el ancho de anillos, en la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja.

No obstante, existen trabajos que reportan una alta relación entre ancho de anillos y la densidad básica, encontrando que la densidad básica disminuye cuando incrementa el ancho de anillos, como lo corroboran los trabajos de Simpson y Denne (1997), Pérez *et al.* (2000), Rozenberg *et al.* (2000) Wimmer y Downes (2003) y Renninger *et al.* (2006), quienes lo atribuyen a un mayor porcentaje de madera tardía y a la presencia de madera madura.

Por otro lado, de acuerdo con Zobel y Buijtenen (1989), se puede decir que la densidad de la madera está fuertemente influenciada por la cantidad de madera temprana y tardía presente en un año, generalmente la madera temprana presenta una baja densidad básica, mientras que la madera tardía tiene una alta densidad básica.

#### **5.1.2. Relación densidad básica - % de madera tardía**

La correlación entre densidad básica y % de madera tardía se presenta en los Cuadros 2 y 4, donde se observan valores bajos de correlación en las dos calidades de sitio estudiadas (alta y baja) y con las dos condiciones de datos analizados. Sin embargo, en el Cuadro 4 se observa un incremento en los valores de correlación entre densidad básica y % de madera tardía, en la calidad de sitio alta, hecho que se analizó anteriormente.

En la Figura 4 y 5 se presenta la relación gráfica entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía, con los valores promedio de cada uno de los anillos de crecimiento estudiados, donde se observa la relación entre las dos variables analizadas para la calidad de sitio alta y baja, respectivamente, encontrándose una correlación alta ( $r = 0.7339$ ), para el sitio con mejor calidad, comparada con una correlación baja ( $r = 0.2371$ ) para el sitio con menor calidad. Los datos de la calidad de sitio alta coinciden con lo encontrado por Kort *et al.* (1991), quienes mencionan que existe una relación de 0.6 entre ambas variables, Por otro lado, Wimmer (1995), menciona que la proporción de madera tardía predice la densidad básica, encontrando una alta correlación entre ambas variables. Sin embargo, estos autores no mencionan la calidad de sitio donde se desarrollo el trabajo, al respecto Kumar (2002), señala que genéticamente la densidad básica tiene una estrecha relación con el porcentaje de madera tardía.

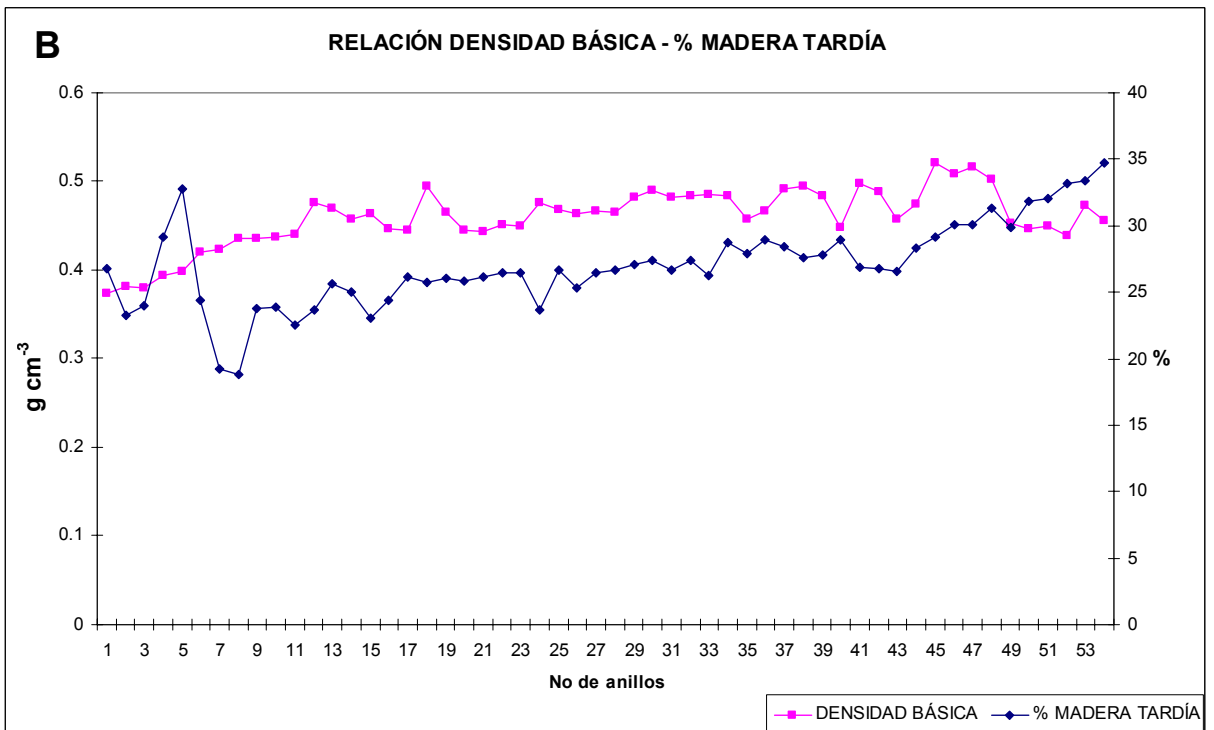
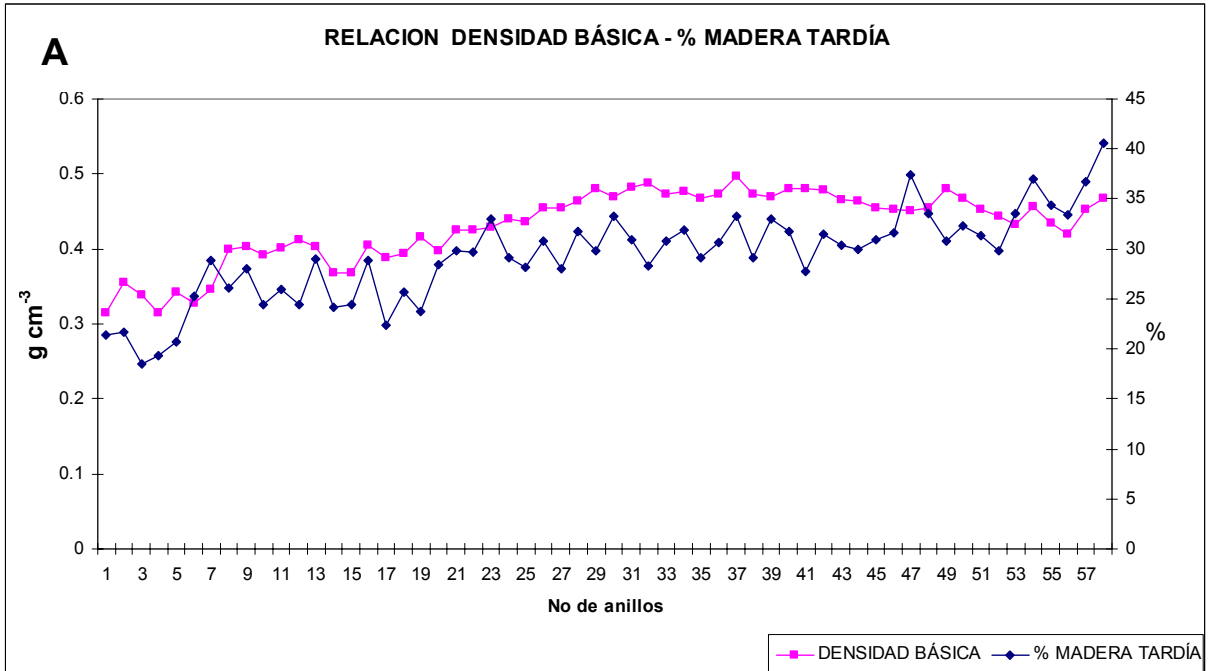


Figura 4. Relación de la densidad básica con el porcentaje de madera tardía, de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja.

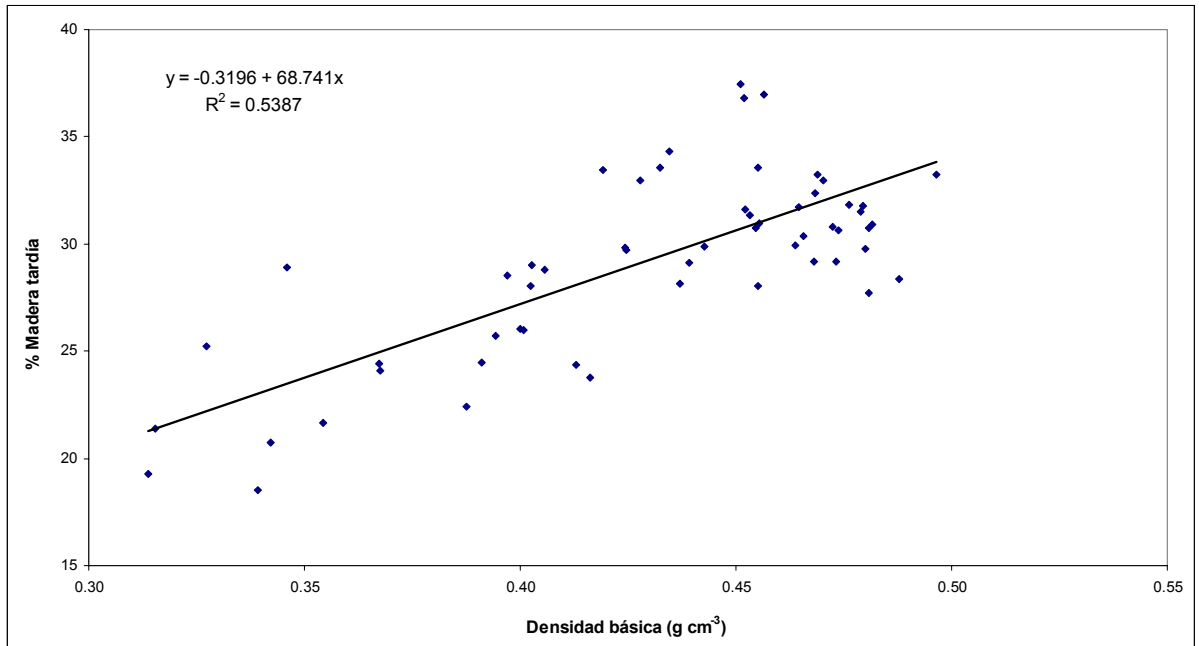
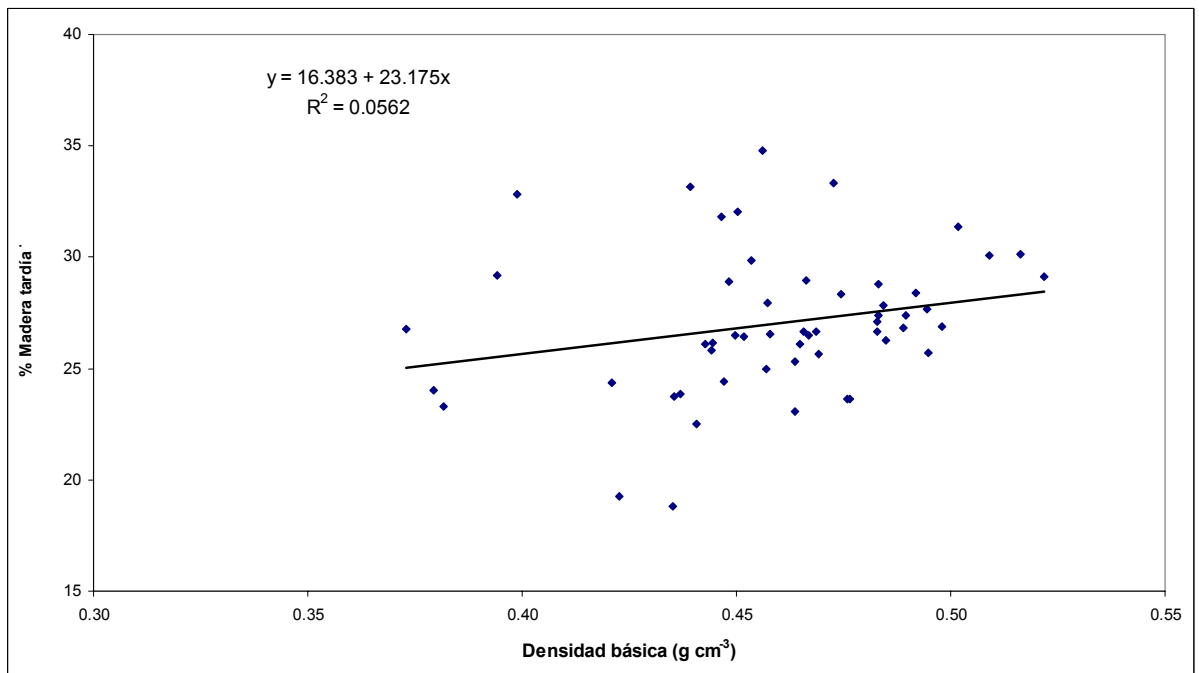
**A****B**

Figura 5. Grado de asociación entre la densidad básica y el porcentaje de madera tardía, de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja.

La diferencia encontrada entre ambas calidades de sitio, puede indicar que el sitio tiene alguna influencia negativa sobre la correlación de ambas variables, ya que en la calidad de sitio alta se observa una relación más estrecha entre ambas variables, mientras que en la calidad de sitio baja, esta relación disminuye considerablemente.

De manera general, se observa un sentido positivo del coeficiente en ambas condiciones de estudio, lo que indica que a mayor porcentaje de madera tardía se encuentran valores de densidad básica más altos, además de la estrecha relación entre ambas variables, lo que coincide con lo reportado por Taylor y Burton (1982), Choong *et al.* (1989), Wright y Malan (1991), Haygreen y Bowyer (1996) y Pérez *et al.* (2000) y con lo reportado por Lindström (1997), quien menciona que el porcentaje de madera tardía depende del ancho de anillos ( $r^2 = 0.53$ ) y la densidad básica depende de la proporción de madera tardía ( $r^2 = 0.80$ ).

### **5.1.3. Relación densidad básica - % de madera temprana**

En la Figura 6, se presentan los gráficos de la relación entre densidad básica y % de madera temprana, encontrando coeficientes de correlación de  $r = - 0.73176$  y de  $r = - 0.23712$ , en la calidad de sitio alta y baja, respectivamente, lo que indica que la calidad de sitio puede presentar una influencia negativa sobre la correlación entre ambas variables. El sentido negativo de los coeficientes de correlación indica que a medida que el

porcentaje de madera temprana aumenta la densidad básica disminuye y viceversa, lo que coincide con lo encontrado por Choong *et al.* (1989) y Coronel (1994), éste último menciona que cuanto más anchos son los anillos de crecimiento se forma una mayor cantidad de madera temprana.

En la Figura 6 se observa la relación entre ambas variables, hasta el anillo 25 aproximadamente, se registra la clara relación de que a mayor porcentaje de madera temprana una menor densidad básica en ambas calidades de sitio, (más marcada en la calidad de sitio alta), lo que coincide con lo reportado por Zobel y Buijtenen (1989) y Simpson y Denne (1997); pero a medida que se incrementa el número de anillos, esta relación se pierde ya que en los anillos de crecimiento posteriores al 25, ambas variables se igualan para las dos calidades de sitio, lo que puede indicar que la mayor variabilidad se presenta en los primeros años de crecimiento del árbol y que a medida que el árbol crece y se forma la madera madura, las variaciones disminuyen y el efecto de la calidad de sitio también se ve reducido.



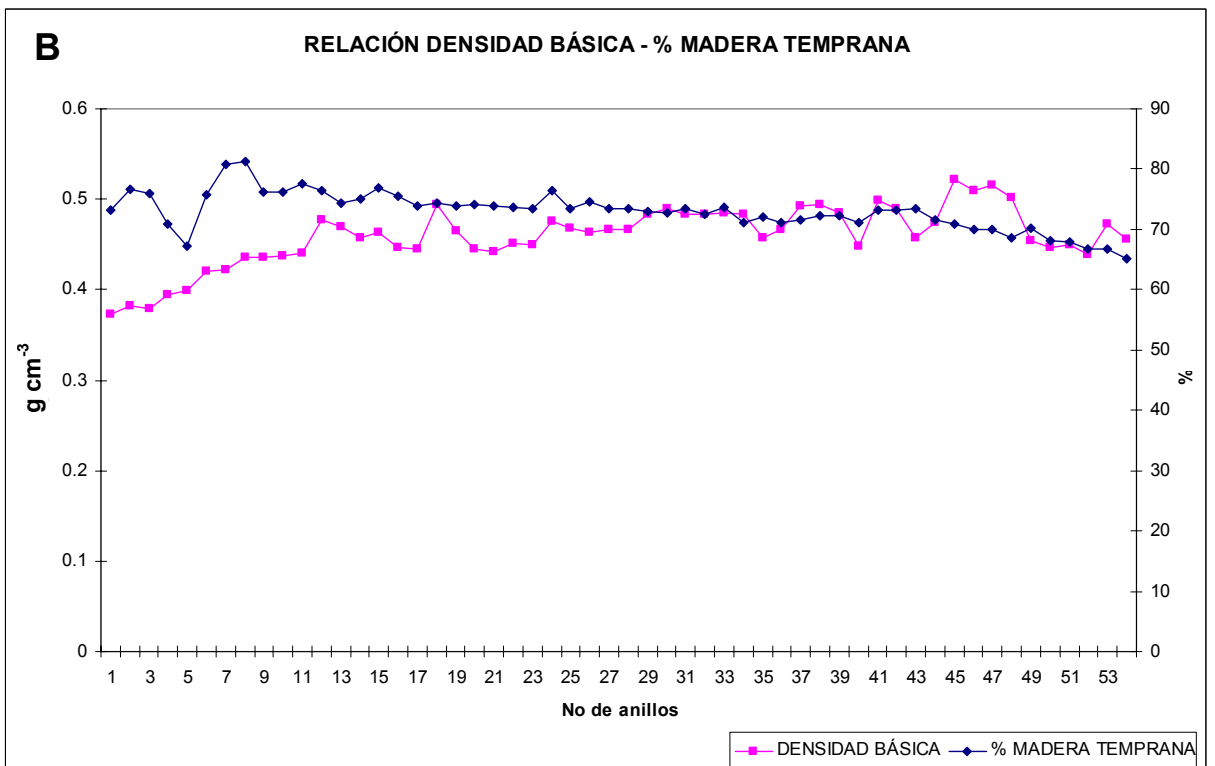
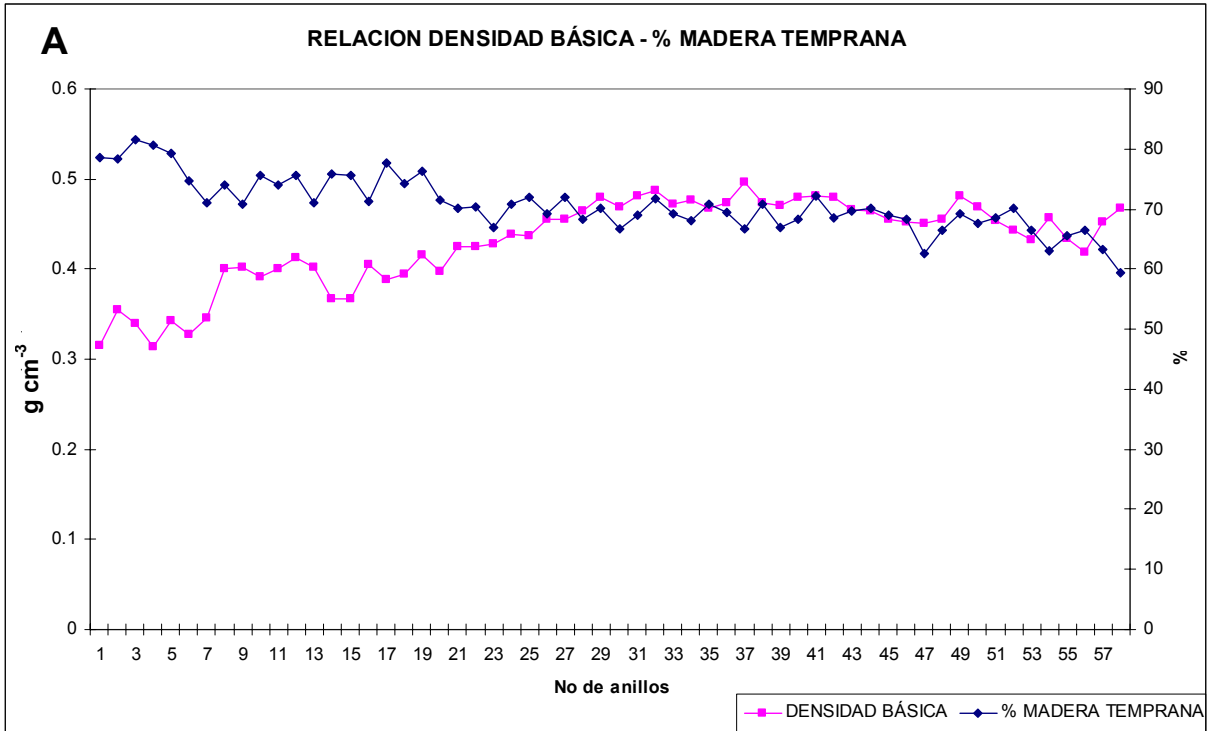


Figura 6. Relación de la densidad básica con el % de madera temprana, en la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja.

#### 5.1.4. Relación ancho de anillos - % de madera tardía

Los coeficientes de correlación encontrados al relacionar el ancho de anillos con el porcentaje de madera tardía, son presentados en el Cuadro 5, donde se indican los coeficientes obtenidos con todos los datos y los encontrados con los valores promedio de cada uno de los anillos de crecimiento, observándose valores más altos con los valores promedio que con todos los datos, lo que refleja que una vez obtenida la media la variabilidad disminuye, y se puede observar una correlación mayor entre ambas variables.

Cuadro 5. Coeficientes de correlación de Pearson, entre ancho de anillos y porcentaje de madera tardía en la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales.

	% de madera tardía	
	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja
Ancho de anillos	- 0.51490 <sup>y</sup>	- 0.42647 <sup>y</sup>
	- 0.22044 <sup>z</sup>	-0.17623 <sup>z</sup>

y = Promedios    z = Todos los datos

Con los valores presentados en el Cuadro 5, se observa que la calidad de sitio sigue siendo un factor de influencia en los resultados de los coeficientes, ya que en el sitio de mejor calidad se encontraron los valores más altos. Sin embargo, de manera general, se aprecia que el coeficiente de correlación presenta un valor negativo, lo que según Jaakkola *et al.* (2005),

puede deberse al incremento de la edad en el árbol, por otro lado, indica una relación inversamente proporcional entre ambas variables, es decir, a mayor ancho de anillos menor porcentaje de madera tardía y viceversa, lo que coincide con lo reportado por DeBell *et al.*, (2004) para árboles jóvenes de *Tsuga heterophylla*, y con Beckwith y Shackelford (1976), éstos últimos lo atribuyen a la estrecha relación existente entre el crecimiento de la copa con el ancho de anillos. Por otro lado, Yin *et al.* (1996), mencionan que las condiciones del medio ambiente influyen en la tasa de crecimiento de los anillos, lo que repercute en el porcentaje de madera tardía.

En la Figura 7 se presenta el gráfico de la relación entre ancho de anillos y porcentaje de madera tardía, donde se observa la relación inversa encontrada con los coeficientes de correlación, sin embargo, esta tendencia se manifiesta aproximadamente a partir del anillo 25, mostrándose claramente en la madera de los últimos anillos de crecimiento lo que de acuerdo a Zobel y Talbert (1994) se puede considerar como madera madura, esta relación se manifiesta en las dos calidades de sitio estudiadas.

Por otro lado, se observa en los anillos de crecimiento anteriores al 25 una gran variabilidad, tanto en ancho de anillos como en porcentaje de madera tardía, lo que presumiblemente puede estar influenciado por la presencia de madera juvenil, ya que de acuerdo a Zobel y Talbert (1994), esta madera se presenta en los primeros años de crecimiento y contiene características muy diferentes a la madera madura.

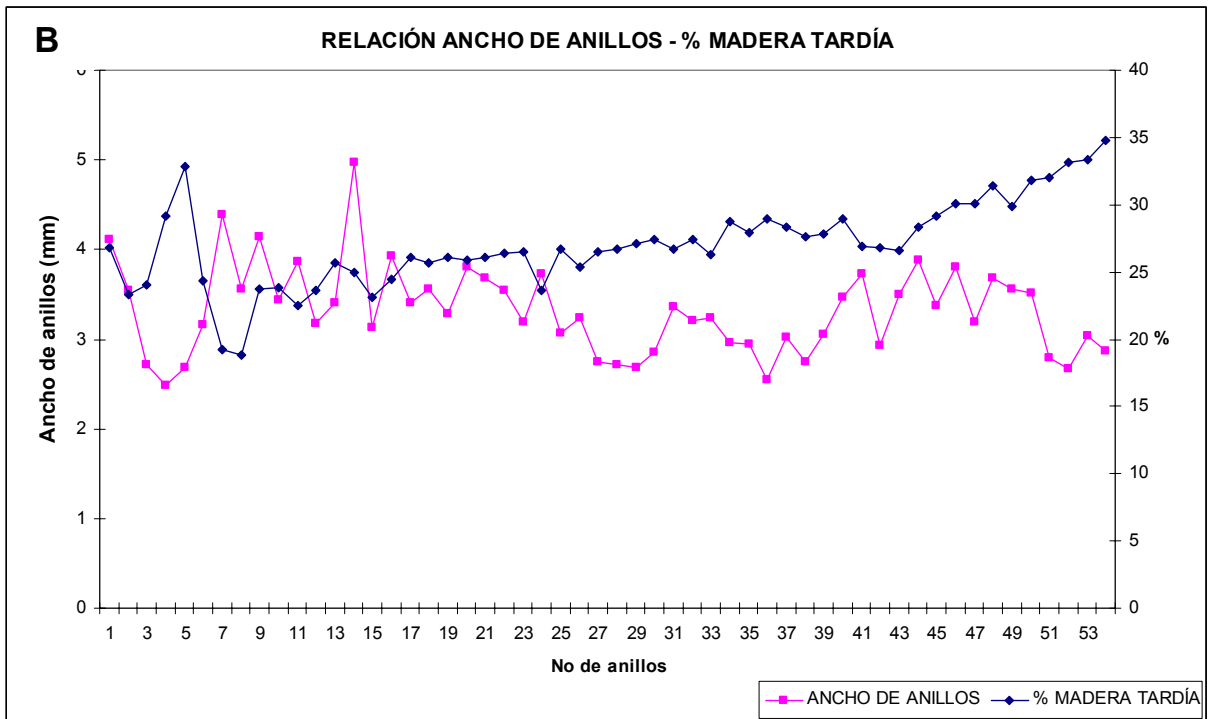
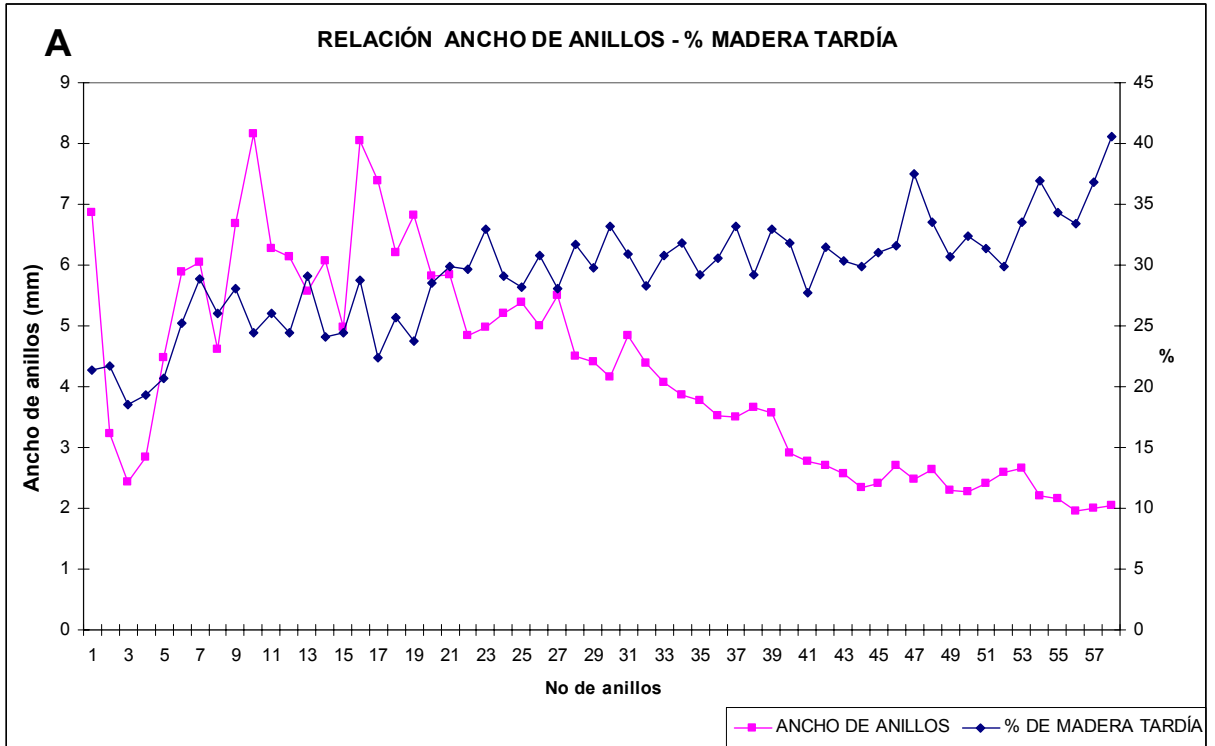


Figura 7. Relación del ancho de anillos con el % de madera tardía, en la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de un rodal natural, en (A) calidad de sitio alta y (B) calidad de sitio baja.

## 5.2. Efecto de los aclareos, sobre densidad básica y ancho de anillos en dos calidades de sitio de la madera obtenida en rodales naturales

En el Cuadro 6 se presentan los resultados promedio encontrados en la densidad básica y ancho de anillos de las dos calidades de estación, donde se observan la tendencia en la densidad básica de disminuir numéricamente después de aplicado el aclareo en ambas calidades de sitio, con respecto al ancho de anillos, se observa una tendencia similar en ambas calidades de sitio, sin embargo, en el ancho de anillos se presenta una diferencia mayor en los resultados encontrados antes y después del aclareo, presentando una mayor diferencia en la calidad de sitio baja.

Cuadro 6. Valores promedio de antes y después del aclareo de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales.

Tratamiento	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )		Ancho de anillos (mm)	
	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja	Calidad de sitio alta	Calidad de sitio baja
Antes del aclareo	0.45	0.47	2.52	3.26
Después del aclareo	0.44	0.45	2.20	2.89

Los factores considerados en el estudio no tienen influencia significativa sobre los valores encontrados de la densidad básica (Cuadro 7), lo que coincide con lo reportado por Markstrom *et al.* (1983), Moschler *et al.* (1989), Hernández *et al.* (1996) y Jaakkola *et al.* (2005), quienes reportan que los aclareos no

influyen de manera significativa sobre las características de la densidad ( $P > 0.0001$ ), en las especies que estudiaron en sus respectivas investigaciones. Esta situación puede deberse a que esta propiedad de la madera responde más a factores genéticos que a los ambientales, debido a que es considerada como una de las características altamente heredables (Zobel y Talbert, 1994).

Cuadro 7. Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica y ancho de anillos, de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de dos calidades de sitio de rodales naturales.

Fuente de variación	Grados de libertad	F calculada	
		Densidad básica	Ancho de anillos
Sitio	1	1.65	17.39**
Aclareo	1	2.34	3.97*
Sitio x aclareo	1	0.35	0.02

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

Asimismo, se observa que la calidad de sitio y el aclareo influyen de una manera directa en el ancho de los anillos, lo que puede estar muy relacionado con las condiciones del lugar donde crece esta especie, ya que el crecimiento depende en gran parte de la cantidad y calidad de nutrimentos, así como, de la profundidad del suelo, lo que se ve reflejado en la variación del ancho de anillos (Rigling *et al.*, 2001). Por otro lado, Raiskila *et al.* (2006), encuentran en su estudio sobre *Picea abies* que el sitio presenta una influencia significativa sobre el ancho de anillos.

No obstante, se observa que estas características no son las determinantes en la diferencia entre ancho de anillos, ya que puede influir la edad del rodal a la cual se realizó la práctica del aclareo. Este se realizó en la etapa madura de su vida, ya que de acuerdo con Wright (1999), en una revisión sobre *Pinus patula*, menciona que la edad de transición entre madera juvenil y madura se encuentra en un rango de 20 a 30 años, por lo que se puede decir, que los árboles estudiados fueron árboles maduros, y el efecto del aclareo ya no se puede mostrar, como se presentaría en las etapas jóvenes de los rodales, lo que coincide con lo encontrado por Taylor y Burton (1982). Por otro lado, Feeney *et al.* (1998) mencionan que los árboles bajo aclareo, presentan una mayor cantidad de fotosintatos disponibles para el crecimiento, lo que puede tener influencia sobre el ancho de los anillos de la especie bajo estudio.

Al analizar las variables, antes y después del aclareo en el sitio de calidad alta (Figura 8A), se encontraron para la densidad básica, los siguientes resultados de 0.45 y 0.44 g cm<sup>-3</sup> antes y después del aclareo, respectivamente, no encontrándose diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos, concluyendo que el aclareo no influyó en la densidad básica de la madera (Cuadro 8).

Cuadro 8. Comparación de medias antes y después del aclareo para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de la calidad de sitio alta de rodales naturales.

Tratamiento	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Ancho de anillos (mm)		
		Error estándar		Error estándar
Antes del aclareo	0.45a	0.0079	2.52a	0.1389
Después del aclareo	0.44a	0.0079	2.20a	0.1389

Media con la misma literal en la misma columna son estadísticamente iguales con  $\alpha = 0.05$  según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida.

Con respecto, a los resultados encontrados en la calidad de sitio baja (Figura 9A), se observaron valores de 0.47 y 0.45 g cm.<sup>-3</sup> antes y después del aclareo, respectivamente, no presentando diferencias significativas estadísticamente entre ambos tratamientos, concluyendo que el aclareo para esta calidad de sitio no influyó en los valores de la densidad básica encontrados (Cuadro 9). Los resultados encontrados en las dos calidades de estación difieren de lo reportado por Ming *et al.* (2006), quienes si encuentran un efecto del sitio sobre la densidad básica de la madera, presentando densidades más altas en la calidad de sitio baja.

Cuadro 9. Comparación de medias antes y después del aclareo para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de la calidad de sitio baja de rodales naturales.

Tratamiento	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Ancho de anillos (mm)		
		Error estándar		Error estándar
Antes del aclareo	0.47a	0.0090	3.26a	0.2137
Después del aclareo	0.45a	0.0090	2.89b	0.2137

Media con la misma literal en la misma columna son estadísticamente iguales con  $\alpha = 0.05$  según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida.



Con estos resultados, se muestra que los aclareos realizados con la intensidad de corta aplicada, a cada uno de los rodales estudiados, no influyen de manera directa sobre el comportamiento de la densidad básica, lo que puede indicar que no existe una relación tan estrecha entre el tratamiento de un aclareo de este tipo y la densidad básica de la madera (Zobel y Talbert, 1994, Hernández *et al.* 1996). Por otro lado, Malende y Ringo (1987) concluyen que los diferentes tratamientos de aclareos no presentan alguna influencia sobre la densidad básica de *Cupressus lusitanica* que crece en el Noreste de Tanzania.

Al analizar el ancho de anillos, antes y después del aclareo para la calidad de sitio alta (Figura 8B), se observa que antes del mismo existe un ligero incremento del ancho de anillos hasta el punto de la aplicación del aclareo, para después disminuir de manera substancial.

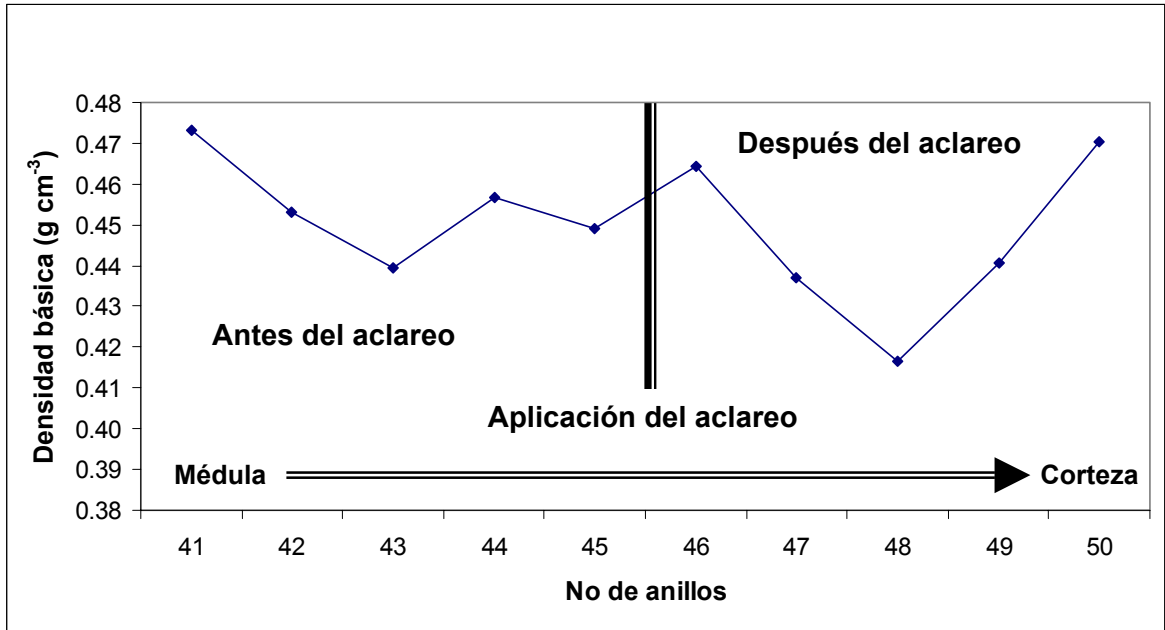
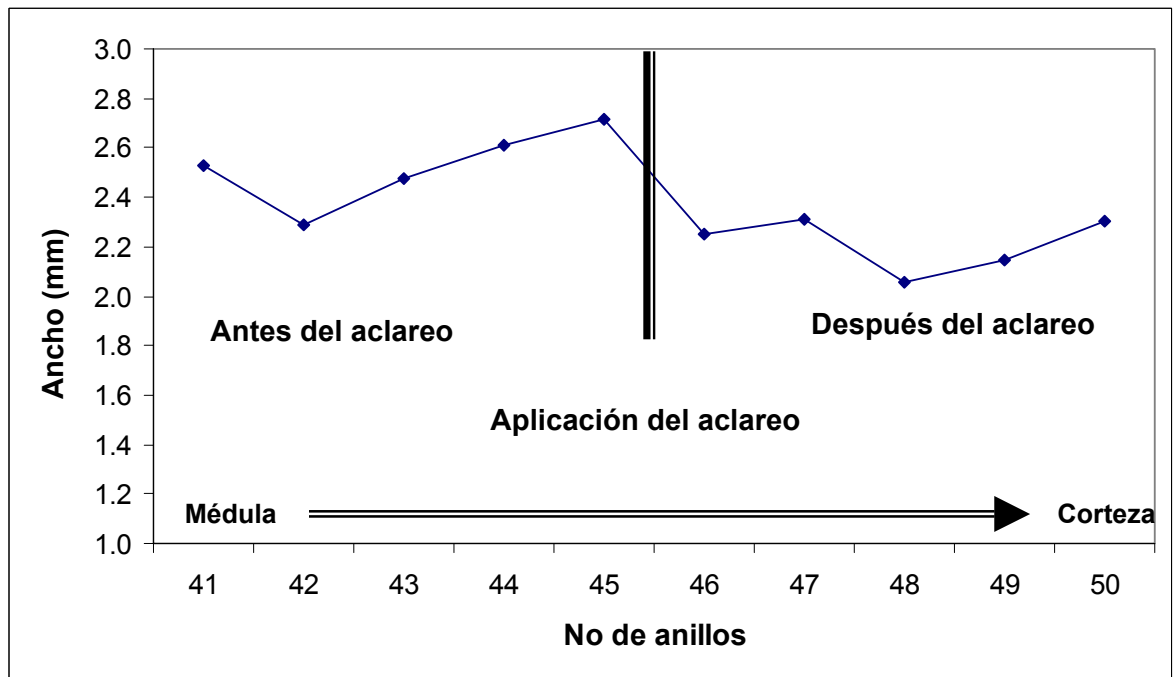
**A****B**

Figura 8. Comportamiento de la densidad básica (A) y del ancho de anillos (B) de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de rodales naturales, en la calidad de sitio alta, antes y después del aclareo.

Sin embargo, el tratamiento de aclareo no presenta una influencia sobre el ancho de anillos, ya que no muestran diferencias significativas (Cuadro 8), coincidiendo con lo encontrado por Herman *et al.* (1998), quienes reportan una tendencia estable en el ancho de anillos antes del aclareo y un incremento acelerado después del aclareo atribuyéndolo principalmente a cambios climáticos y a la humedad edáfica. Los resultados encontrados en este estudio pueden estar afectados por la intensidad del aclareo aplicada al rodal (15 %), lo que puede influir en la forma de la copa, que es de vital importancia para predecir el crecimiento individual de un árbol (Harold y Hocker, 1984). Difieren de lo reportado por Pape (1999c), ya que el menciona que la aplicación de aclareos en sitios de buena calidad propicia un aumento en el ancho de anillos.

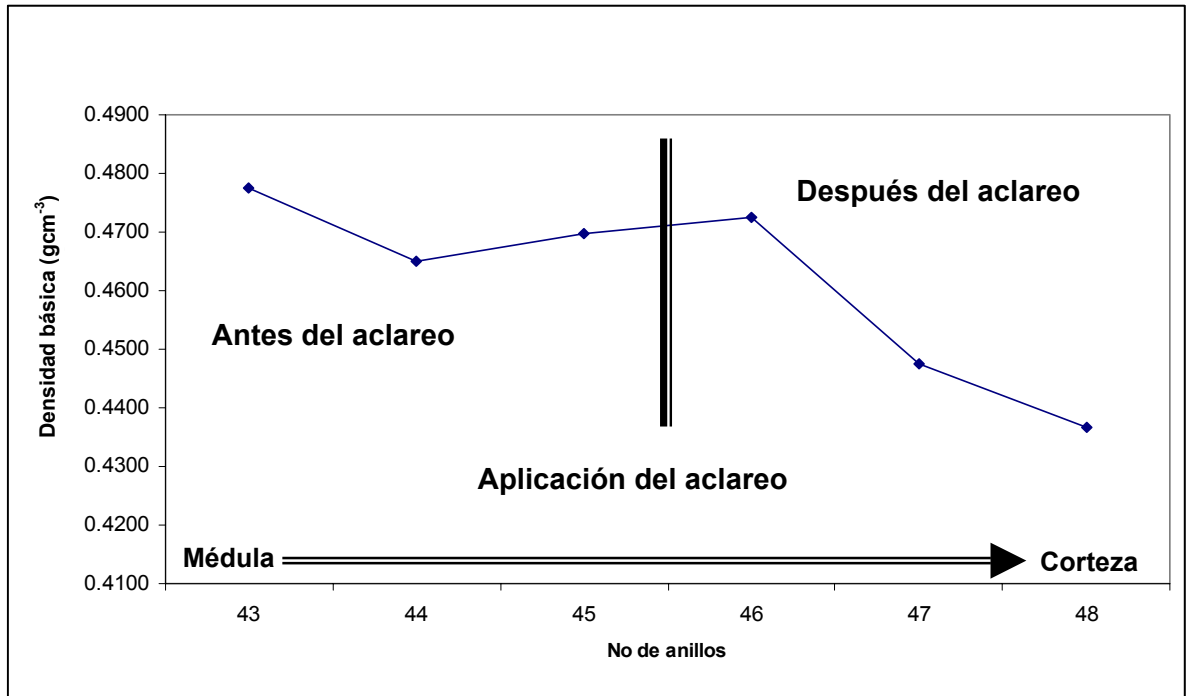
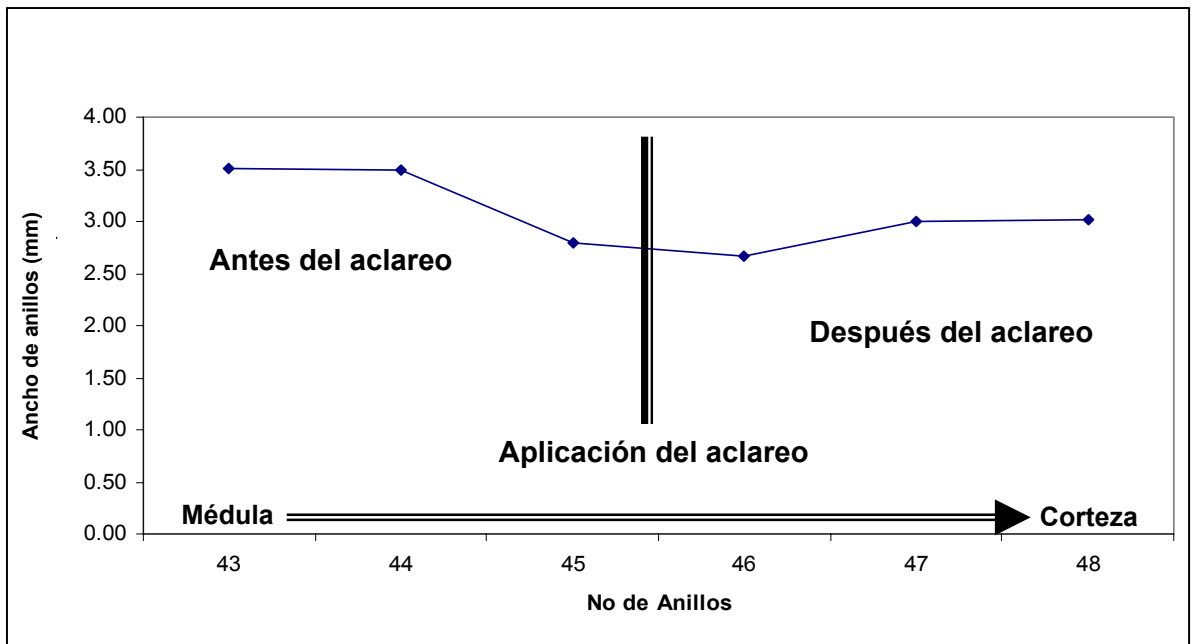
**A****B**

Figura 9. Comportamiento de la densidad básica (A) y del ancho de anillos (B) de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de rodales naturales en la calidad de sitio baja, antes y después del aclareo.

En la calidad de sitio baja se encontró una ligera tendencia de disminuir el ancho de anillos hasta el momento de la aplicación del aclareo, para que posterior a la aplicación del aclareo se observa un incremento ligero (Figura 9B). No obstante, los valores de ancho de anillos, encontrados antes del aclareo fue de 3.26 mm, mientras que posterior al aclareo se encontraron valores de 2.89 mm., presentando una diferencia estadísticamente significativa (Cuadro 9), y coincidiendo con lo encontrado por Moschler *et al.* (1989). La disminución en el ancho de anillos posterior al aclareo puede estar relacionada con la cantidad de anillos estudiados, ya que solamente se estudiaron tres antes y después del aclareo, por lo que se puede considerar que aún no se presenta el efecto del mismo.

Por otro lado, la edad del rodal puede ser una característica determinante en la obtención de los resultados, ya que de acuerdo con Klepac, (1976) a edades maduras los árboles de *Pinus patula*, ya no presentan cambios significativos en el crecimiento en altura y diámetro.

### 5.3. Efecto de los aclareos, sobre la densidad básica y ancho de anillos en la madera proveniente de plantaciones

Los resultados presentados en el Cuadro 10, muestran que la aplicación del aclareo, influye de una manera directa en el ancho de los anillos, mientras que no presentan efecto alguno sobre la densidad básica, resultados que coinciden con lo reportado por Taylor y Burton (1982), Koga *et al.* (1994), Stephan y Liesebach (1995), Koga *et al.* (1996), Loranca *et al.* (1996) y Dutilleul *et al.* (1998). El poco efecto que los aclareos puedan tener sobre la densidad básica de la madera, se le puede atribuir a que esta propiedad responde más a factores genéticos que a los ambientales, debido a que es considerada como una de las propiedades de la madera altamente heredables (Zobel y Talbert, 1994).

Al brindar un mayor espaciamiento entre árboles origina variaciones en su crecimiento y en la proporción de madera temprana y tardía, lo que se ve reflejado en el ancho de anillos (Smith *et al.*, 1997).

Cuadro 10. Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de una plantación.

Fuente de variación	Grados de libertad	F calculada	
		Densidad básica	Ancho de anillos
Aclareo	1	1.43	20.63**

\*\* Diferencias significativa al 0.01 de probabilidad.

La aplicación de aclareos no presentó evidencia de ser determinante en la diferencia entre ancho de anillos, ya que existen factores como la edad del rodal, la intensidad del aclareo y las condiciones del sitio, que interactúan entre sí, dando condiciones particulares al sitio donde se realizó el estudio. La edad de la plantación al momento de la colecta fue aproximadamente de 18 años, se aplicó una intensidad del aclareo del 10 % por hectárea; el sitio presentó las condiciones de humedad adecuadas, ya que la plantación se encuentra rodeando a una presa, por lo que la humedad no es factor limitante para su crecimiento.

Otra variable considerada al respecto es la que presenta Liu *et al.* (1995) quienes mencionan que el periodo de evaluación después de aplicado el aclareo debe ser más amplio para poder detectar algún efecto sobre las propiedades de la madera. Por otro lado, Feeney *et al.* (1998) mencionan que los árboles bajo aclareo, presentan una mayor cantidad de fotosintatos para el crecimiento, lo que puede tener influencia sobre el ancho de los anillos de crecimiento de la especie bajo estudio.

Por otro lado, y de acuerdo a Wright (1999), la madera proveniente de este rodal es madera juvenil, por lo que esta característica de la madera puede ser un factor limitante para que no se detecte la posible influencia del aclareo, ya que se mantiene la tendencia de incrementar en dirección de la corteza (Panshin y DeZew, 1980), no obstante, la densidad básica de la madera juvenil es baja comparada con la obtenida de madera madura (Zobel y Talbert, 1994).

Al analizar las variables, antes y después del aclareo (Figura 10A), se aprecia que los valores absolutos de la densidad básica encontrados son menores numéricamente, ya que se encontraron valores de 0.39 y 0.41 g cm.<sup>-3</sup> antes y después del aclareo, respectivamente, no obstante, la relación de la densidad básica con el tratamiento no presentó diferencias significativas (Cuadro 11), Por otro lado, Xu *et al.* (2002) presentan incrementos significativos en la densidad básica, después de aplicado el aclareo, lo que es atribuido a la intensidad de corta que fue del 50 %.

Con los resultados encontrados se observa que los aclareos aplicados en masas jóvenes, y para las características del sitio en general, en donde crece la especie bajo estudio, no influyen de una manera directa sobre el comportamiento de la densidad básica, no se encuentra una relación estrecha entre el tratamiento de un aclareo de este tipo y la densidad básica de la madera (Hernández *et al.* 1996). Resultados similares han sido reportados para *Pinus taeda* L. (Moschler *et al.* 1989) y para *Picea abies* L. Karst (Herman *et al.* 1998). Por otro lado, Jozsa y Brix (1989) y Simpson y Denne (1997), encontraron que con los aclareos, la densidad básica fue ligeramente menor, lo que difiere con lo encontrado en este trabajo. Pérez y Kanninen (2005), mencionan que los aclareos fuertes afectan positivamente a la calidad de la madera, sin embargo, dichos resultados no pueden ser soportados de manera estadística debido a la gran variación existente entre sitios.



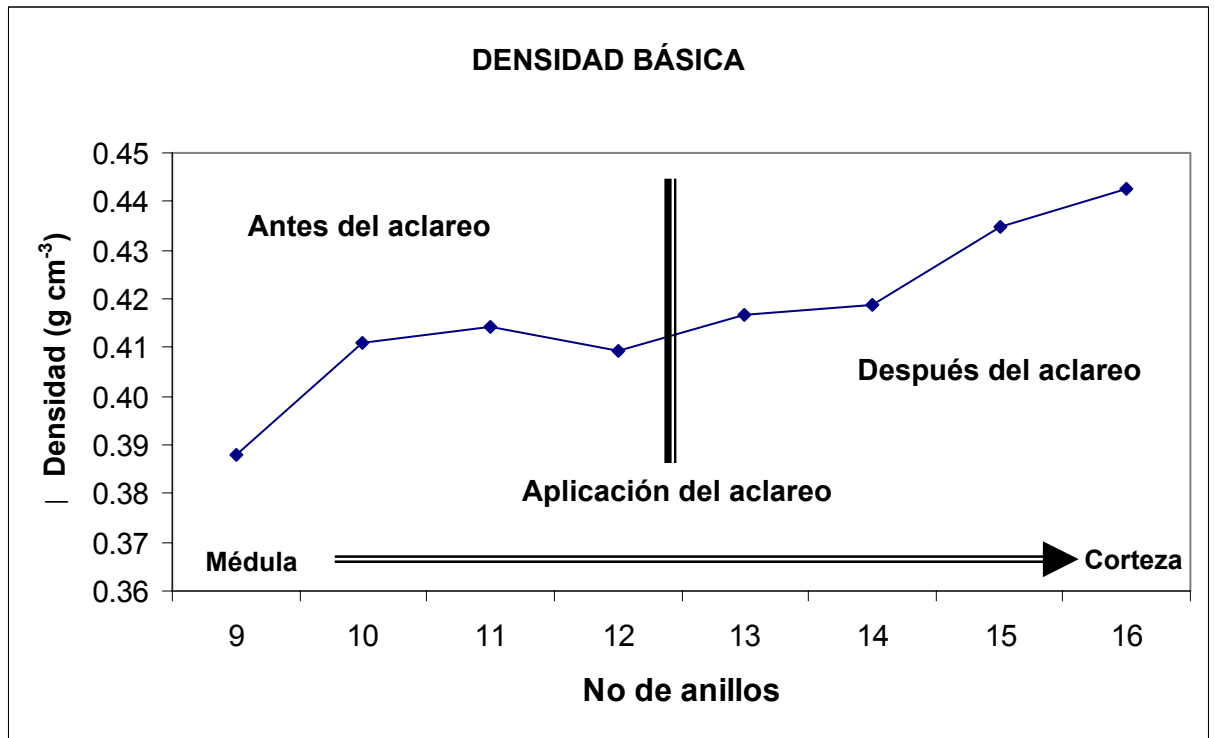
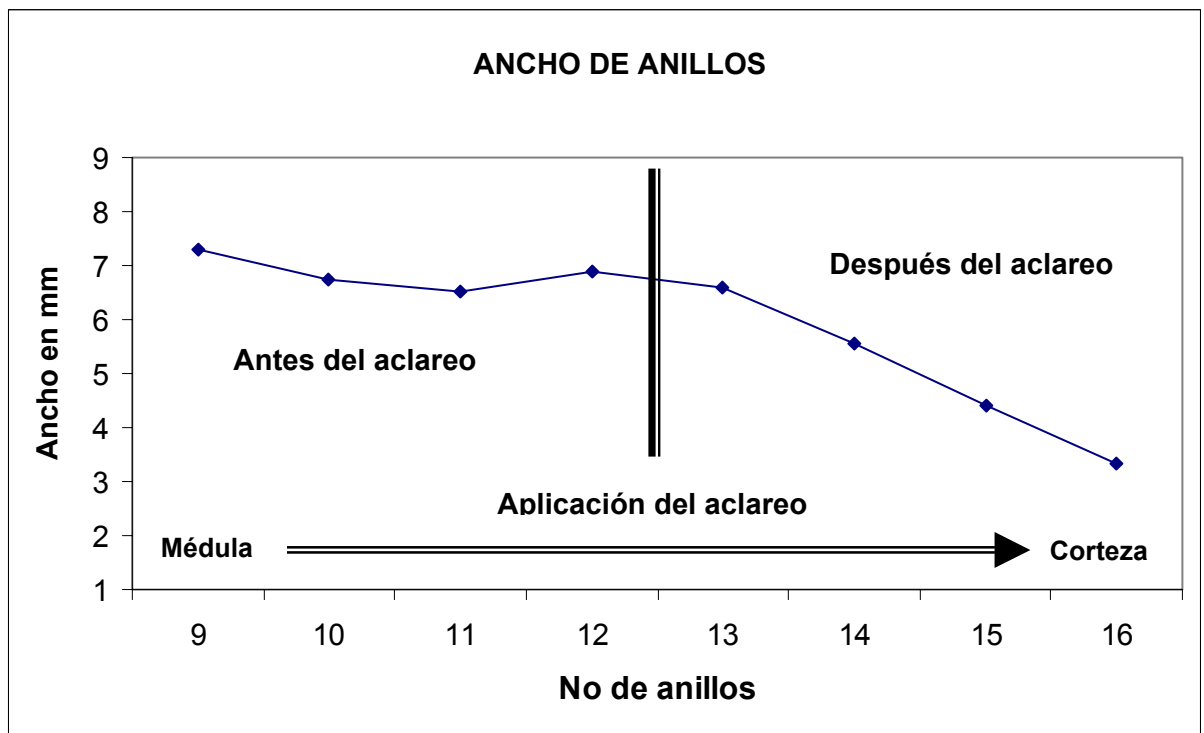
**A****B**

Figura 10. Comportamiento de la densidad básica (A) y ancho de anillos (B), antes y después del aclareo de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de una plantación.

Cuadro 11. Comparación de medias antes y después del aclareo para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de una plantación.

Tratamiento	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Ancho de anillos (mm)		
		Error estándar		Error estándar
Antes del aclareo	0.39a	0.0076	7.43a	0.3834
Después del aclareo	0.41a	0.0076	4.97b	0.3834

Media con la misma literal en la misma columna son estadísticamente iguales con  $\alpha = 0.05$  según la prueba de la diferencia mínima significativa protegida.

El ligero incremento en la densidad básica después de aplicado el aclareo, se relaciona con la disminución en ancho de anillos, dando como resultado una proporción alta de madera tardía, resultados que coinciden con lo encontrado por Pape (1999 a y b), mientras que Wimmer y Downes (2003), concluyen que el ancho de anillos si influye sobre la densidad básica de la madera, este resultado difiere con lo reportado por Koga *et al.* (1996), quienes encuentran un incremento notable en ancho de anillos en la parcela donde se aplicó el aclareo, no obstante, estos resultados se encontraron en parcelas donde se tuvo una intensidad de aclareo alta (mayor del 30 %), situación que difiere a lo encontrado en este trabajo, ya que aquí la intensidad fue muy baja (10 %), y ésta no presenta algún efecto sobre las propiedades estudiadas, ya que se observa la tendencia general de comportamiento de la densidad básica (incrementar de la médula en dirección de la corteza), como lo encontrado por Weber (2005), en plantaciones de *Pinus taeda* de 16 años de edad.

Sin embargo, el tratamiento de aclareo presentó una influencia significativa sobre el ancho de anillos, (Cuadro 11), coincidiendo con lo encontrado por Koga *et al.* (2002), mientras que difiere de lo reportado por Stephan y Liesebach (1995), quienes al evaluar el ancho de anillos, encontraron un incremento en éstos, después de cinco años de aplicado el aclareo.

Al analizar el ancho de anillos antes y después del aclareo se encontró una media de 7.3648 y 4.8349 mm respectivamente, encontrando una disminución en el ancho de anillos después de aplicado el aclareo (Figura 10B), lo que concuerda con Goche *et al.* (2003), al comparar las medias mediante la prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ), estas fueron diferentes estadísticamente, sin embargo, difiere de lo encontrado por Erickson y Harrison (1974), quienes encuentran un incremento en ancho de anillos después de aplicado el aclareo, lo que puede ser atribuido a la fertilización que se aplicó al momento del aclareo.

Por otro lado, Goche *et al.* (2002), encontraron que el ancho de anillos disminuye antes de la aplicación del aclareo en *Pinus greggii* Engelm., proveniente de una plantación, lo que fue atribuido a la competencia de los árboles por luz y nutrientes del suelo. Concluyendo que es necesario aplicar aclareos si se quiere mantener el incremento en diámetro del rodal.

Con respecto a la densidad básica, ésta no mostró diferencia alguna por efecto del aclareo, ya que los valores promedio encontrados para antes y después de aplicado el aclareo fue de  $0.39 \text{ g cm}^{-3}$  y de  $0.41 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente, no presentando diferencias estadísticas significativas, lo que concuerda con lo señalado por Moschler *et al.*, (1989) y Hernández *et al.*, (1996) quienes reportaron que los aclareos no influyen de manera significativa sobre la densidad básica de la madera. Resultados similares han sido reportados para *Picea abies* (L.) Karst. (Herman *et al.*, 1998), provenientes de plantaciones jóvenes. Lo que puede ser atribuido a que la densidad básica de la madera responde más a factores genéticos que a los ambientales, debido a que es considerada como una de las características altamente heredables (Zobel y Talbert, 1994), no obstante, Downes *et al.* (2002) encuentran en *Pinus radiata*, una disminución en la densidad básica después de aplicado el aclareo, atribuyéndolo a la fertilización aplicada posterior al aclareo.

Con los resultados obtenidos en la madera proveniente de plantaciones, se determinó la correlación entre las variables estudiadas, por lo que se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson (Cuadro 12), encontrando una correlación negativa, entre aclareo y ancho de anillos ( $r = -0.385$ ), esto muestra una relación inversa entre estas dos variables. Por otro lado, se puede inferir que la práctica de los aclareos solo explica en un 38 % el comportamiento en ancho de anillos, lo que concuerda con lo reportado por Loranca *et al.* (1996) y Koga *et al.* (2002).

Al obtener la correlación del aclareo con la densidad básica se encontró que ésta no es significativa ( $r = 0.11012$ ), lo que muestra que los aclareos no influyen de manera significativa sobre la densidad básica de la madera de *Pinus patula* de esta localidad, lo que concuerda con lo encontrado por Hernández *et al.* (1996) y Pape (1999 a y b).

Se encontró una correlación negativa entre la densidad básica y el ancho de anillo ( $r = - 0.1948$ ), mostrando una relación inversamente proporcional, entre ambas especies (Figura 11) y poco significativa, observando que no se presenta una relación estrecha entre ambas variables, obteniendo valores más bajos que los reportados por Stephan y Liesebach (1995), quienes encuentran una correlación negativa de ( $r = - 0.35$ ) entre ambas variables.

DeBell *et al.* (1994) encuentran una correlación negativa entre el ancho de anillos y la densidad básica, presentando una correlación altamente significativa ( $P = 0.00004$ ) que explica el 39 % de la variación en la densidad básica, coincidiendo con lo encontrado por Cameron *et al.* (2005), en *Picea sitchensis* quienes encuentran una relación significativa entre densidad básica y ancho de anillos. Por otro lado, Jovanovski *et al.* (2002), en su estudio sobre *Pinus ponderosa*, no encuentran una relación significativa entre ambos parámetros estudiados, atribuyéndolo a las variaciones de la densidad básica en la madera temprana y tardía y a las distintas proporciones de madera temprana en el ancho del anillo.

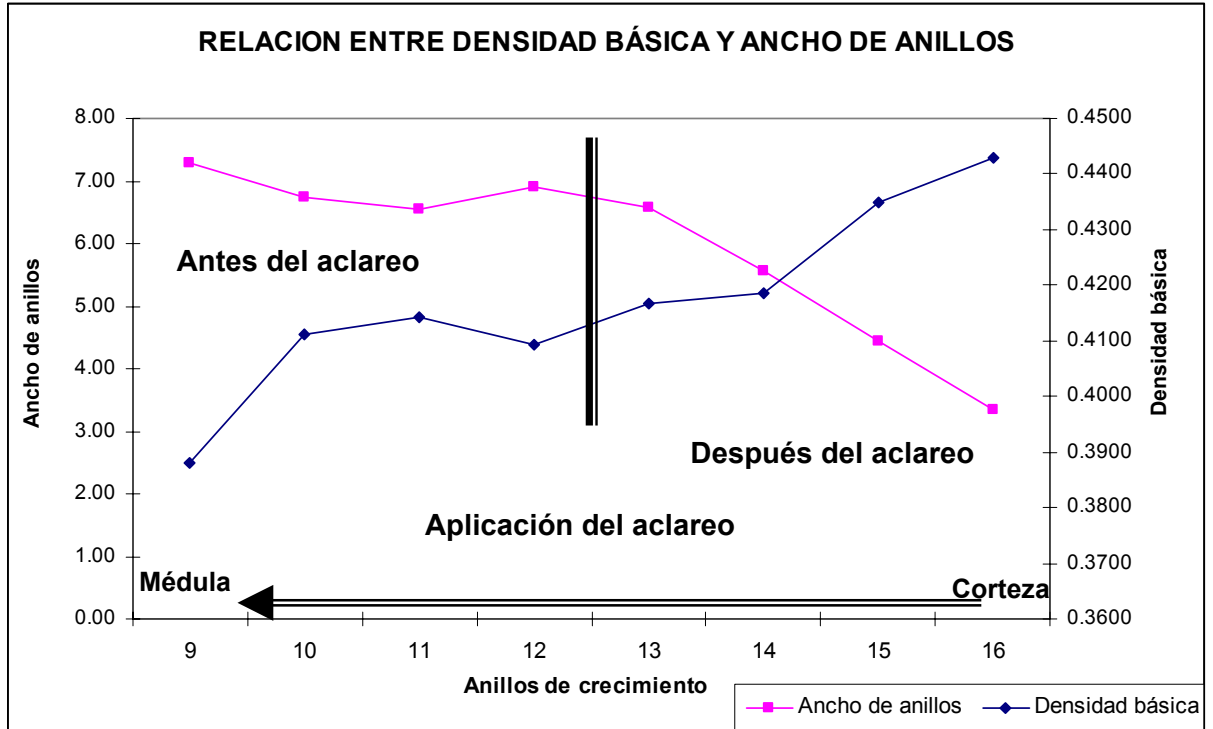


Figura 11. Relación entre ancho de anillos y densidad básica, antes y después del aclareo de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., procedente de una plantación.

Cuadro 12. Coeficientes de Correlación de Pearson, N = 240. Prob > Irl  
Ander H0: Rho = 0

	ACL	ARBOL	ANCHO	DB
ACL	1.00000	0.00000	-0.38561	0.11012
		1.00000	<.0001	0.2312
ARBOL	0.00000	1.00000	-0.09819	0.16750
	1.00000		0.2860	0.0675
ANCHO	<b>-0.38561</b>	-0.09819	1.00000	-0.19485
	<b>&lt;.0001</b>	0.2860		0.0330
DB	0.11012	0.16750	<b>-0.19485</b>	1.00000
	0.2312	0.0675	<b>0.0330</b>	

ACL = Aclareo; DB = Densidad básica

#### 5.4. Efecto del aclareo sobre densidad básica y ancho de anillos en las dos localidades estudiadas, rodal natural y plantación

En el Cuadro 13, se presentan las estadísticas generales, considerando los últimos ocho anillos de crecimiento, cuatro antes y cuatro después de aplicado el aclareo, donde se aprecian los valores mínimos, máximos, promedio, y desviación estándar para las variables estudiadas ancho de anillos y densidad básica, bajo las dos condiciones analizadas, árboles procedentes de un rodal de regeneración natural y de una plantación.

Cuadro 13. Valores encontrados de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación).

Valores	Rodal natural		Plantación	
	Ancho de anillos (mm)	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Ancho de anillos (mm)	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )
Mínimo	0.49	0.2721	0.92	0.3158
Medio	2.36	0.4502	5.53	0.4170
Máximo	8.97	0.6572	11.71	0.5414
Rango	8.48	0.38	10.78	0.23
Desviación estándar	1.40	0.08	2.37	0.05

Como se aprecia en el Cuadro 13, los resultados encontrados con respecto a densidad básica muestran valores mayores en la madera obtenida de rodales naturales, comparada con la encontrada en las plantaciones, lo que coincide con lo encontrado por Resch y Bastendorff (1978), quienes lo atribuyen a la edad ya que a mayor edad mayor densidad de la madera. Por otro lado,

Sinkovic, (1995), estudia las diferencias entre madera juvenil y madera madura, encontrando valores de densidad básica de  $0.3976 \text{ g/cm}^3$  y de  $0.4977 \text{ g/cm}^3$  para madera juvenil y madera madura respectivamente, en *Abies alba*.

Con respecto al ancho de anillos se observan anillos de crecimiento más amplios en la madera de plantaciones con respecto a los encontrados en los rodales naturales; lo que puede atribuirse a la edad del arbolado, ya que los provenientes de rodales naturales fueron árboles adultos de alrededor de 50 años, mientras que los de las plantaciones eran árboles jóvenes de alrededor de 18 años; interviniendo un factor importante, como es la cantidad de madera juvenil presente en el arbolado, ya que de acuerdo con Amarasekara y Denne (2002), la madera juvenil en especies de coníferas se encuentra en los primeros anillos de crecimiento y asociada con la edad del cambium.

Meza (2003), encuentra una amplitud de transición entre madera juvenil y madera madura para *Pinus patula* entre 6 y 16 años, por lo que de acuerdo con lo anterior, la madera de las plantaciones podría ser básicamente madera juvenil, la cual tiene características muy diferentes a la encontrada en la madera madura (Clark y Saucier, 1989; Zobel y Talbert, 1994; Macdonald y Humbert, 2002).

En el Cuadro 13, también se presentan los resultados de ancho de anillos de crecimiento, los cuales presentan una mayor amplitud en la madera obtenida de plantaciones comparada con la de los rodales naturales, lo que



puede ser atribuido en gran parte a la edad, ya que de acuerdo con Klepac (1976), los árboles disminuyen su crecimiento en diámetro después de que llegan a la etapa madura, por lo que de acuerdo a la edad del arbolado del rodal natural se puede decir que su crecimiento en diámetro era reducido, por otro lado, en los primeros años de vida los árboles tienen sus mayores incrementos en diámetro, por lo cual la madera de plantaciones presentó anillos de crecimiento más amplios.

En el Cuadro 14, se presentan los valores de F del análisis de varianza con los datos obtenidos de las dos condiciones de estudio, donde se observa que el aclareo no presenta una influencia significativa sobre la densidad básica y el ancho de anillos, mientras que el sitio presenta una influencia altamente significativa en el comportamiento de las variables estudiadas, y la interacción sitio-aclareo presenta una influencia significativa.

Por otro lado, se encontró que las variables dependientes árbol y anillo dentro del árbol presentaron una influencia altamente significativas sobre el comportamiento encontrado en densidad básica y ancho de anillos de crecimiento ( $Pr > F = 0.0001$ ); a excepción del anillo dentro del árbol el cual no presentó una influencia significativa sobre el ancho de anillos.

Cuadro 14. Prueba de F del análisis de varianza de efectos fijos para la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación).

Fuente de variación	Grados de libertad	F calculada	
		Densidad básica	Ancho de anillos
Sitio	1	22.86**	175.36**
Aclareo	1	0.03	1.67
Sitio x aclareo	1	8.57*	32.64**

\*, \*\* Diferencias significativas y altamente significativas respectivamente.

Con el análisis de varianza se observa que el aclareo no presenta una influencia significativa sobre las variables estudiadas, lo que puede ser atribuido a la edad madura de los rodales naturales y a la presencia de madera juvenil en la madera de plantaciones, así como, a la intensidad del aclareo, ya que en las plantaciones se realizó un aclareo con una intensidad de 10 % y en el rodal natural se aplicó una intensidad del 15 %, lo cual no fue significativo para tener una influencia sobre las propiedades estudiadas, lo que coincide con los trabajos realizados por Koga *et al.* (1994) y Tasissa y Burkhart (1998), a pesar de que estos últimos realizaron intensidades de corta de 30 y 50 %.

Al incrementar la intensidad del aclareo se encuentran algunas diferencias en la densidad básica tal como lo señala Pape, (1999b), en *Picea abies*, quien realiza intensidades de corta de 40 %, aunque no coincide con lo reportado por Loranca *et al.* (1996), quienes no encuentran diferencias en densidad básica al aplicar aclareos a intensidades de corta del 60 y 62 %. Con

lo anterior se puede decir que la intensidad del aclareo no es una variable que pueda predecir con claridad la diferencia en la densidad básica obtenida y que se deben de considerar otros factores como el suelo, los ambientales y las especies, entre otras, al respecto Liu *et al.* (1995) mencionan que el efecto de los aclareos no se presenta de manera inmediata, y que se deben esperar periodos más largos para poder detectar un efecto sobre la densidad básica de la madera.

Al realizar la prueba de medias de Tukey con  $\alpha = 0.5$ , se encontraron los resultados mostrados en el Cuadro 15, donde se puede apreciar que con respecto al sitio, la densidad básica y el ancho de anillos presentaron diferencias significativas.

Cuadro 15. Comparación de medias entre sitios para la densidad básica y ancho de anillos, de la madera de *Pinus patula* Schl. *et* Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación).

Tratamiento	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )	Ancho de anillos (mm)	
		Error estándar	Error estándar
Rodal natural	0.45a	0.0030	2.36a 2.193
Plantación	0.41b	0.0030	5.53b 2.193

Media con la misma literal en la misma columna son estadísticamente iguales con  $\alpha = 0.05$  según la prueba de medias de Tukey.

La mayor densidad encontrada en los rodales naturales comparada con las plantaciones puede ser atribuida a la edad del arbolado, y se puede apreciar también una relación con el ancho de anillos, ya que en los rodales naturales se encontraron anillos de crecimiento más angostos y se relaciona con una densidad básica mayor, mientras que en la madera extraída de plantaciones los anillos de crecimiento fueron más anchos y la densidad básica fue más baja, lo que puede deberse a la proporción de madera temprana presente en los anillos de crecimiento de ambas condiciones; lo que coincide con lo encontrado por Coronel (1994), Krahmer (1966); Yin *et al.* (1996); Rozenberg *et al.* (2000) y Wimmer y Downes (2003), para diferentes especies de coníferas.

Analizando el efecto del aclareo sobre la densidad básica y el ancho de anillos, considerando las dos condiciones estudiadas (rodal natural y plantación), mediante la prueba de medias de Tukey (Cuadro 16), se encontró que para densidad básica no hubo diferencias estadísticas significativas en los resultados obtenidos antes y después de efectuado el aclareo (Watson, *et al.* 2003), mientras que para ancho de anillos si hubo efecto del aclareo ya que se encontraron diferencias estadísticas significativas, no obstante, que las investigaciones presentadas por Koga *et al.* (1994) y Koga, *et al.* (2002), indican que después de aplicado el aclareo, el ancho de anillos tiende a aumentar, lo que no coincide con lo encontrado en esta investigación, que puede ser atribuido a la edad, y a la presencia de madera juvenil en la plantación; y a la presencia de madera madura en el rodal natural.

Cuadro 16. Comparación de medias antes y después del aclareo de la densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., en las dos condiciones analizadas (rodal natural y plantación).

Tratamiento	Densidad básica (g cm <sup>-3</sup> )		Ancho de anillos (mm)	
		Error estándar		Error estándar
Antes del aclareo	0.439a	0.0030	4.00a	2.193
Después del aclareo	0.435a	0.0030	3.09b	2.193

Media con la misma literal en la misma columna son estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ ) según la prueba de medias de Tukey.

En la Figura 12 A y B, se presentan los gráficos correspondientes a la densidad básica y ancho de anillos, en donde se comparan los resultados obtenidos de las plantaciones y de los rodales naturales, y de los encontrados antes y después del aclareo.

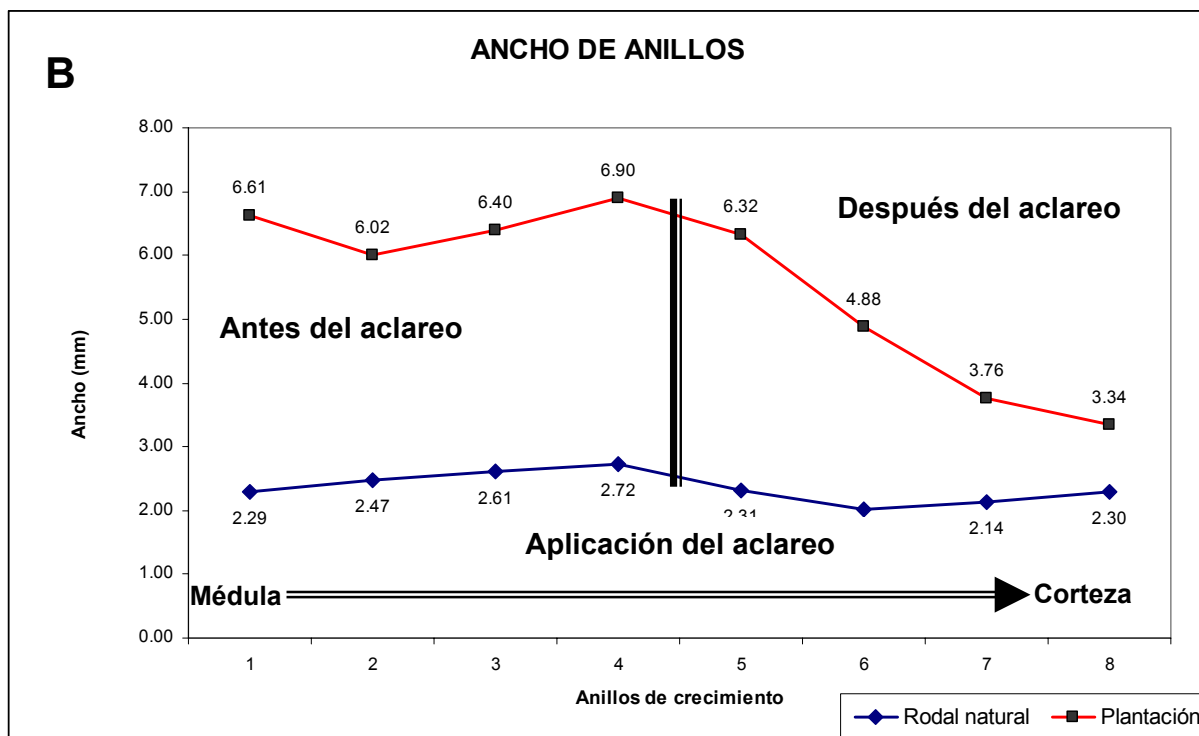
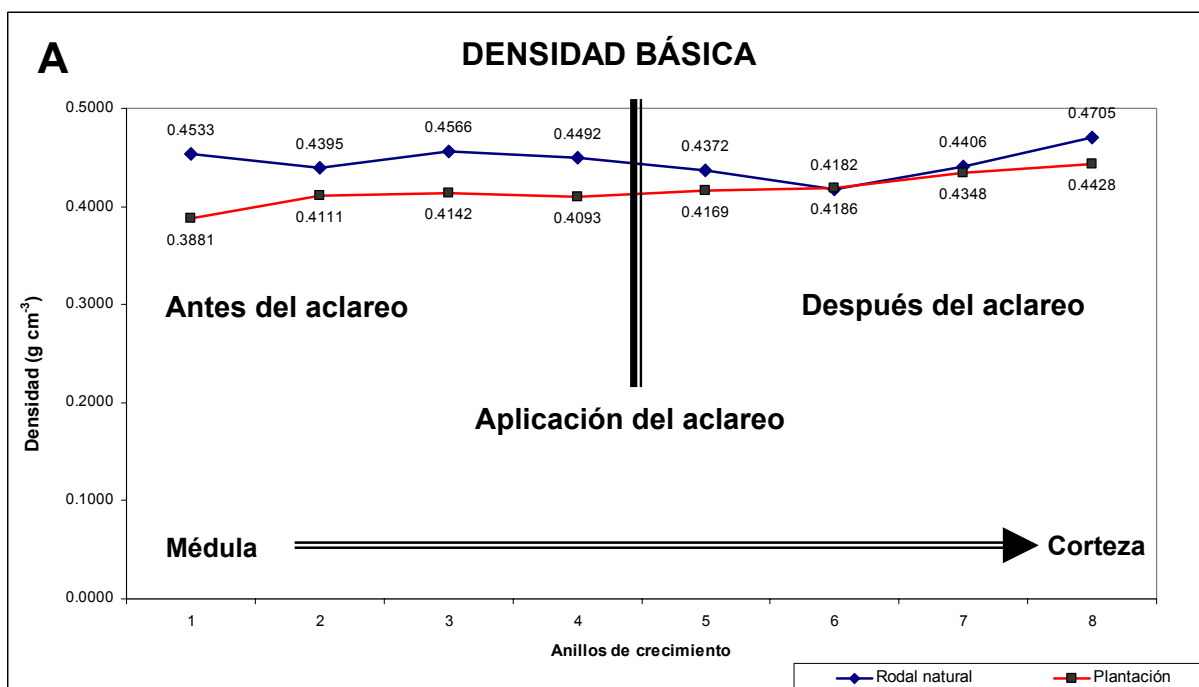


Figura 12. Resultados del rodal natural y de la plantación, para la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., antes y después del aclareo en (A) densidad básica y (B) ancho de anillos.

Como se puede observar en la Figura 12 A la densidad básica presenta una tendencia similar entre los valores obtenidos de rodales naturales y de plantaciones, antes y después de los aclareos, con una ligera tendencia de incrementar después de aplicado el aclareo.

En general, se observan diferencias estadísticamente significativas siendo valores superiores en los resultados de la densidad básica para los rodales naturales comparados con los obtenidos en las plantaciones; lo que coincide con lo encontrado por Louga *et al.* (1994) y Jin *et al.* (2001); pero difieren de lo reportado por Johansson *et al.* (1997) y Johansson y Persson (1997), quienes no encuentran diferencias significativas entre la densidad básica obtenida de los árboles obtenidos de plantaciones y rodales naturales. Sin embargo, al analizar el efecto de los aclareos, se observa que después de aplicado el aclareo, no se encontraron diferencias en ambos tratamientos (rodales naturales y plantaciones), lo que puede ser atribuido a la intensidad del aclareo ya que en ambos tratamientos se aplicaron intensidades bajas, aunado a la edad presente en los rodales naturales.

## 6. CONCLUSIONES

La densidad básica presenta una relación inversa con el ancho de anillos y porcentaje de madera tardía, lo que muestra la clara interdependencia entre ambas propiedades y características de la madera, ya que el aumento o disminución de la densidad básica depende del porcentaje de madera tardía, presente en cada uno de los anillos de crecimiento, y el porcentaje está estrechamente relacionado con el ancho de los anillos de crecimiento, ya que en anillos angostos se encuentra un mayor porcentaje de madera tardía lo que conlleva a obtener una densidad básica alta.

La aplicación de aclareos con una baja densidad de corta en rodales naturales no influyó de manera significativa en la densidad básica de la madera, a pesar de las diferencias encontradas en los valores obtenidos, y no se modifica en las dos calidades de sitio estudiadas ya que en éstas no se presentaron diferencias significativas. Con respecto al ancho de los anillos se encontró que la aplicación de aclareos presentó diferencias entre las calidades de sitio estudiadas. No encontrando diferencias en la calidad de sitio alta (clase de sitio I) donde los árboles crecían con mejores condiciones de suelo, mientras que si se encontró un efecto en la calidad de sitio baja (clase de sitio IV) donde los árboles de la masa natural se desarrollaron bajo condiciones pobres del suelo.



La madera proveniente de plantaciones, es generalmente madera juvenil, la cual se encuentra en etapa de crecimiento con una mayor actividad fotosintética, lo que pudo ser una limitante para que la aplicación de aclareos no influyera en los valores de la densidad básica de la madera, aunado a un aclareo con una intensidad de corta baja (10 %); sin embargo, el aclareo si tuvo una influencia significativa en el ancho de anillos de crecimiento, ya que estos disminuyeron después de aplicado el aclareo, lo que puede ser atribuido a la presencia de madera juvenil en esta etapa de su desarrollo.

Al comparar los resultados de densidad básica y ancho de anillos, obtenidos en la madera proveniente de plantaciones y la madera proveniente de rodales naturales, se observan valores más altos de densidad en los rodales naturales comparados con los de las plantaciones, con respecto al ancho de anillos se encontraron valores más altos en las plantaciones comparados con los rodales naturales, lo que puede ser atribuido a la presencia de madera juvenil en las plantaciones y la presencia de madera madura en los rodales naturales.

Con este trabajo surge la inquietud de generar la línea de investigación de efecto de aclareos sobre las propiedades de la madera, con la finalidad de generar en un mediano plazo recomendaciones sobre las intensidades de corta y edades más recomendables para iniciar con los aclareos y en un largo plazo generar un turno tecnológico que permita aprovechar de manera racional los bosques con los mayores beneficios económicos y ambientales.

## 7. LITERATURA CITADA

- Álvarez O., P. A. y varona J., T. 1988. Silvicultura. Editorial pueblo y educación. La Habana, Cuba. 354 p.
- Amarasekara, H. y M. P. Denne. 2002. Effects of crown size on wood characteristics of Corsian pine in relations to definitions of juvenile wood and core wood. *Forestry*. 75:51-61.
- Barbour, R. J.; Fayle, D. C. F.; Chauret, G.; COOK, J.; KARSH, M. B. y RAN, S. 1994. Breast-height relative density and radial growth in mature jack pine (*Pinus banksiana*) for 38 years after thinning. *Can. J. For. Res.* 24:2439-2447.
- Barnes R., D.; Birks J., S.; Battle, G. y Mulin L., J. 1994. The genetic control of ring width, wood density and tracheid length in the juvenile core of *Pinus patula*. *S.African For. Journal*. 169:15-20.
- Becerra L. F.; E. García M.; M. A. Musálem S.; G. Zárate DE L. Y E. M. Zepeda B. 1988. Guía de densidad para *Pinus patula* Schl. et Cham. en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla. *Agrociencia*. 72:105-119.
- Beckwith III, J. R. y Shackelford, L. S. 1976. Relationship between crown growth and annual xylem sheath development in Loblolly pine sapling. *Forest Science*. 22(3):247-260.
- Brazier, J. D. y Mobbs I. D. 1993. The influence of planning distance on structural wood yields of unthinned Sitka spruce. *Forestry*. 66(4):333-352.
- Brosovich, G., M. M. 1998. Determinación del rendimiento para *Pinus patula* Schl. et Cham., en la región de Zacualtipán, Hidalgo, México. Tesis de Maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 95 p.

- Cameron, A. D., S.J. Lee, A.K. Livingston, Y J. A. Petty. 2005. Influence of selective breeding on the development of juvenile wood in Sitka spruce. *Can. J. For. Res.* 35(12): 2951-2960.
- Clark, A. y J. R. Saucier. 1989. Influence of inicial planting density, geographic location and species on juvenile wood formation in southern pines. *For. Prod. Journal.* 39:42-48.
- Chew V. 1976. Comparing treatment means: a compendium. *Hortscience.* 11(4): 348-357.
- Choong T. E.; P. J. Fogg y E. Shoulders. 1989. Effect of cultural treatment and wood-type on some physical properties of longleaf and slash pine wood. *Wood and Fiber Science.* 21(2):193-206.
- Coronel, E. O. 1994. Fundamentos de las Propiedades físicas y mecánicas de las maderas. ITM, serie de publicaciones 9404. Santiago del Estero, Argentina. Vol 1. 187p.
- Daniel, P. W.; V. E. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. 2ª edición. Mc Graw-Hill. México. 492 p.
- DeBell J. D.; Tappeiner C. J.; y Krahmer L. R. 1994. Wood density of western hemlock: effect of ring width. *Can. J. For. Res.* 24: 638-641.
- DeBell D. S., Singleton R., Gartner B. L. y Marshal D. D. 2004. Wood density of young-growth western hemlock: relation to ring age, radial growth, stand density, and site quality. *Can. J. For. Res.* 34(12): 2433-2442.
- 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.

- Díaz-Vaz, J., y F. Ojeda. 1980. Densidad incremental de *Pseudotsuga menziesii*. I: Variaciones en un análisis fustal. Bosque (Valdivia). 3(2):86-95.
- Downes, G. M., J. G. Nyakuengama, R. Evans, R. Northway, P. H. Blakemore, R. L. Dickson y M. Lausberg. 2002. Relationship between wood density, microfibril angle and stiffness in thinned and fertilized *Pinus radiata*. IAWA J. 23 (3): 253-265.
- Dutilleul P., Herman M. y Avella 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.
- Erickson H., D. y A. T. H. Harrison. 1974. Douglas-Fir wood quality studies Part I: effects of age and stimulated growth on wood density and anatomy. Wood Science and Technology. 8: 207-226.
- Farjón, A.; J. A. Pérez de la R. Y B. S. Styles. 1997. Guía de campo de los pinos de México y América Central. The Royal Botanic Gardens, Kew. Bélgica. 151 p.
- Feeney S.R.; Kolb T. E.; Covington W. W. y Wagner M. R. 1998. Influence of thinning and burning restoration treatments on presettlement ponderosa pines at the Guy Pearson Natural Area. Can. J. For. Res. 28:1295-1306.
- Fuentes S., M. 1995. Tecnología de la Madera II: propiedades físico mecánicas. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Estado de México. 120 p.
- 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. R.; M. Fuentes S.; A. Borja de la R. y H. Ramírez M. 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., J. R.; A. García V., y M. Fuentes S. 2002. Variación de la densidad básica de la madera de *Pinus greggii* proveniente de aclareos de una plantación en Hidalgo. Memoria de Ponencias. Cuarto Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Guadalajara, Jalisco. pp 29-30.
- Goche, T. R.; A. Velázquez M.; A. Borja de la R.; T. Terrazas; C. Cervantes M.; A. Trinidad S. 2003. Densidad básica y ancho de anillos de la madera de *Pinus patula* antes y después de un aclareo. *Interciencia* 28(12): 705 – 709.
- Gómez A. K. y Gómez A. A. 1984. Statistical procedures for agricultural research. 2a edición. John Wiley & Sons. 680 pp.
- Hannrup B.; Wilhelmsson L. y Danell Ö. 1998. Time trends for genetic parameters of wood density and growth traits in *Pinus sylvestris* L. *Silvae Genetica*. 47(4):214-219.
- Harold W. y Hocker J. R. 1984. Introducción a la biología forestal. A. G. T. Editor S. A. México. 446 p.
- Haygreen, J. G.; Bowyer J. L. 1996. Forest Products and Wood Science (An introduction). 3rd ed. - Ames: Iowa State University Press, 490 Pág.
- Herman M.; Dutilleul P. y Avella T. 1998. Growth rate effects on temporal trajectories of ring width, wood density, and mean tracheid length in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Wood and Fiber Science*. 30(1): 6-17.
- Hernández L., A.; M. Martínez R.; J. Vargas H.; A. Velázquez M. y G. Ángeles P. 1996. Características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareados de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Ciencia Forestal en México*. 21(80): 39-55.
- Huerta C., J. 1978. Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas mexicanas. 3ª edición. Bol. Téc. No. 51. Inst. Nac. de Invest. For, México. pp 15-17.

INEGI, 1988. Cartas climáticas de México. 1988.

Jaakkola, T., H Mäkinen, y P. Saranpää. 2005. Wood density in Norway spruce: changes with thinning intensity and tree age. *Can. J. For. Res.* 35(7): 1767-1778.

Jakson, L. W. R. 1968. Effect of thinning on growth and specific gravity of loblolly and slash pine. *Res. Pap. Ga. For. Res. Council.* No. 50. 6 p.

Jin, C. D.; Wu Y. Q.; Wang C.; Zhang P.; Wu Y. D.; Liu Q.; Tai R. X; Jin Y. Z; Cui J. R.; Sheng Q. F. y Jin W. L. 2001. The variations of wood tracheid morphological characteristics and density of *Pinus densiflora* plantation and natural forest. *Journal of Northeast Forestry University.* 29(6):102-104.

Johansson, K. y 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.* 1(4):399-414.

Johansson, K.; Pettersson, N. y Nepveu, G. 1997. Effects of initial spacing on the basic density and radial variation in basic density of *Picea abies*. Institut National de le Recherche Agronomique (INRA), Laboratoire d' Economie Forestere et Agricole; Nancy; France. Pp 104-112.

Jovanovski, A.; Jaramillo, M.; Loguercio, G. y S. Antequera. 2002. Densidad de la madera de *Pinus ponderosa* (Dougl. ex Laws) en tres localidades de Argentina. *Bosque (Valdivia).* 23(2): 99-104.

Jozsa, A. L. y H. Brix. 1989. The effects of fertilization and thinning on wood quality of 24 years-old Douglas-Fir stand. *Canadian Journal Forestry.* 19:1137-1145.

Klepac D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 365 p.

- Koga S.; Oda K.; Tsutsumi J. y Donaldson L. A. 1994. Effect of thinning on intrinsic wood properties of Japanese larch. Third Pacific Regional Wood Anatomy Conference, Rotorua, 20-24 November. New Zealand. pp 305-307.
- Koga S.; Tsutsumi J.; Oda K. y Fujimoto T. 1996. Effects of thinning on basic density and tracheid length of Karamatsu (*Larix leptolepis*). Mokuzaigakkaishi. 42(6):605-611.
- Koga S. K.; S. Y. Zhang y J. Begin. 2002. Effects of precommercial thinning on annual radial growth and wood density in balsam fir (*Abies balsamea*). Wood and Fiber Science: 34(4): 625–642.
- 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.
- Kort, I; V. Loeffen y P. Baas. 1991. Ring Width, Density and Wood Anatomy of Douglas Fir With Different Crown Vitality. IAWA. Bulletin n.s. 12(4): 453-465.
- Krahmer L., R. 1966. Variation of Specific in Western Hemlock Trees. Tappi. 49(5): 227-229.
- Kumar, S. 2002. Earlywood-latewood demarcation criteria and their effect on genetic parameters of growth ring density components and efficiency of selection for end of rotation density of radiate pine. Silvae Genetica. 51(5-6):241-246.
- Lindström, H. 1996. Basic density in Norway spruce. Part III. Development from pith outwards. Wood and Fiber Science. 28(4):391-405.
- Lindström, H. 1997. Fiber length, tracheid diameter, and latewood percentage in Norway spruce: development from pith outwards. Wood and Fiber Science. 29(1):21-34.
- Littell R., C.; Milliken G., A.; Stroup W., W. y Wolfinger R. D. 1996. SAS System for Mixed Models. SAS Inst. Inc., Cary, NC. 633 p.

- Liu J., H. E. Burkhart, y R. L. Amateis. 1995. Projecting crown measures for loblolly pine trees using a generalized thinning response function. *For. Sci.* 41:43-53.
- Loranca J. A. G.; Oliva A. G. y Merino M. V. B. 1996. Influence of thinning intensity on growth, volume production, and wood properties in a *Pinus sylvestris* L. reforestation. *Investigación Agraria, Sistemas y Recursos Forestales.* 5(2):257-273.
- Louga J., E.; Chamshama O. S. A.; y S. Iddi. 1994. Survival, growth, yield and wood quality of a species and provenance trial of *Cupressus lusitanica*, *Cupressus lindleyi* y *Cupressus benthamii* at Hambalawei, Leshoto, Tanzania. *Silvae Genetica.* 43(4):190-195.
- MacDonald, E.; Humbert, J. 2002. A review of the effects of silviculture on timber Quality of Sitka spruce Scotland. *Forestry* 75(2): 108 – 134.
- Malende, Y. H. y Ringo, W. N. 1987. Effect of thinning intensities on wood basic density in *Cupressus lusitanica*. *Indian Journal of Forestry* 10(1): 24–26.
- Markstrom C., D.; Troxell E., H. y CH. E. Boldt. 1983. Wood properties of immature ponderosa pine after thinning. *Forest Products Journal.* 33(4):33-36.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª edición. Botas. México. 361 p.
- Meza J., D. J. 2003. Estimación de la edad de transición de madera juvenil a madera madura en *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, México. 39 p.
- Ming, H. G., C. S. Guang, W. M. Jin y Z. P. Xi. 2006. Effects of silvicultural treatments on mechanical properties of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* plantations. *Journal of Forest Research.* 17(2):157-159.
- Moschler W, W, Dougal E. F, Mcrae, D. D. 1989. Density and growth ring characteristics of *Pinus taeda* L. following thinning. *Wood and Fiber Science* 21(3): 313-319.



- Musálem, M. A. y A. M. Fierros. 1996. Curso de silvicultura de bosques naturales. Mimeografiado. 156 p.
- Panshin A. J. y C. De Zeeuw. 1980. Textbook of Wood Technology. 4ª Edición. McGraw-Hill. New York, U.S.A. pp 249-281.
- Pape R. 1999a. Effects of thinning regime on the wood properties and stem quality of *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research. 14(1):38-50.
- Pape R. 1999b. Influence of thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies*. Scandinavian Journal of Forest Research. 14(1):27-37.
- Pape R. 1999c. Influence of thinning on Spiral grain in Norway spruce grown on highly productive sites in southern Sweden. Silva Fennica. 33(1):3-12.
- Pérez O., C. y Olvera P., C. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas. Bol. Téc. No. 69. Inst. Nac. de Invest. For, México. 111 p.
- Pérez del C. A.; R. DE Castro y S. Ohta. 2000. Índices de Calidad de Madera en *Pinus taeda* de Rivera para la optimización en el uso final. Informe de Investigación No 2. Proyecto de Tecnología de Ensayo de Productos Forestales LATU-JICA (1998-2003). Montevideo, Uruguay. 26 p.
- Pérez, D. y M. Kanninen. 2005. Effect of thinning on ítem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. Silva Fennica. 39(2):217-225.
- Perry, J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press. Portland, OR. U.S.A. 231 p.
- Raiskila, S., P. Saranpää, K. Fagerstendt, T. Laakso, M. Löija, R. Mahlberg, L. Paajanen y A.-C., Ritschoff. 2006. Growth rate and wood properties of Norway Spruce cutting clones on different sites. Silva Feenica. 40(2):247-256.

- Renninger H. J., B. L. Gartner y F. C. Meinzer. 2006. Effects of release from suppression on wood functional characteristics in young Douglas-Fir and western hemlock. *Can. J. For. Res.* 36: 2038-2046.
- Resch H. y K. Bastendorff. 1978. Some wood properties of plantation pines, *Pinus caribaea* and *Pinus oocarpa*. *Wood and Fiber.* 10(3):210-217.
- Rigling A.; Wadner O.; Forster T. P.; Bräker U. O. y 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.
- Rozenberg, P. H.; Franc, A.; Cahalan, C. 2000. Incorporating Wood 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.*
- Savill S. P. y A. J. Sandels. 1983. The influence of early spacing on the wood density of Sitka Spruce. *Forestry.* 56(2): 109-120.
- Simpson H. L. y Denne P. M. 1997. Variation of ring width and specific gravity within tree from unthinned Sitka spruce spacing trial in Clocaenog, North Wales. *Forestry Oxford* 70(1): 31-45.
- Sinkovic, T. 1995. Physical properties of juvenile fir-wood (*Abies alba* Mill.) from Gorski Kotar. *Drvna-Industrija.* 46(2):59-68.
- Smith, D. M.; Larson B. C.; Kelty M. J. y Ashton P. M. 1997. The practice of silviculture: Applied forest ecology. 9<sup>th</sup>.Ed. John Wiley and Sons, Inc. 537 pp.
- Smith, D. M. 1954. Maximun moisture content method for determining specific gravity of small samples. Forest Products Laboratory, USA. 8 p.

- Stephan R. B. Y Liesebach M. 1995. Growth performance and wood characteristics of five *Pinus contorta* progenies. *Silvae Genetica*. 44(5-6): 243-248.
- Szymanski B., M. Y C. G. Tauer. 1991. Loblolly Pine Provenance Variation in Age of Transition from Juvenile to Mature Wood Specific Gravity. *Forest Science*. 37(1):160-174.
- Tasissa., G. Y H. E. Burkhart. 1998. Modeling thinning effects on ring specific gravity of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). *Forest science* 44(2):212-223.
- Taylor W. F. y J. D. Burton. 1982. Growth ring characteristics, specific gravity and fiber length of rapidly grown loblolly pine. *Wood and Fiber*. 14(3):204-210.
- Techline. 2005. Measurement of Earlywood and Latewood Properties in Loblolly pine. Forest Products Laboratory. Pag. 1 – 2.
- Valencia M., S. 1994. Variación Genética de la Densidad de la Madera en *Pinus patula* Schl et Cham y su Relación con la Velocidad de Crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Programa Forestal. Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. pp 15-23 y 96-97.
- Vela G., L. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula* Schelecht et Cham. Publicación Especial No. 19. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. Subsecretaría Forestal y de la Fauna. México, D. F. 109 p.
- Velázquez M., A.; G. Ángeles P.; T. Llanderal O.; A. R. Román J., y V. Reyes H. 2004. Monografía de *Pinus patula*. Comisión Nacional Forestal-Colegio de Postgraduados. México, D. F. 124 p.
- Walker, J. K. C. 1993. Primary Wood Processing: Principles and practice. Chapman and Hall, London. 595 p.
- Watson, P.; Garner, C.; Robertson, R.; Reath, S.; Gee, W. y K. Hunt. 2003. The effects of initial tree spacing on the fibre properties of plantation-grown coastal western hemlock. *Can. J. For. Res.* 33(12): 2460–2468.

- Weber, E. M. 2005. Densidad básica de madera de *Pinus taeda* L. Marion de diferentes edades, Misiones, Argentina. *Floresta*. 35(3):487-494.
- Wimmer, R. 1995. Intra-annual Cellular Characteristics and Their Implications for Modeling Softwood Density. *Wood and Fiber Science*. 27(4): 413-420.
- Wimmer R y G. M. Downes. 2003. Temporal variation of the ring width-wood density relationship in Norway spruce grown under two levels of anthropogenic disturbance. *IAWA J.* 24 (1): 53-61.
- Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry Papers No. 7. Tropical Forestry Institute. Commonwealth Forestry Institute. Oxford, England. 172 p.
- Wright J., A. y F. S. Malan. 1991. Variation in Wood and Tracheid Properties of *Pinus maximinoi*, *Pinus pseudostrobus* and *P. patula*. *IAWA. Bulletin n.s.* 12(4): 467-475.
- Wright J., A., L. F. Osorio, y W. S. Dvorak. 1995. Recent developments in a tree improvement program with *Pinus patula* in Colombia. *For. Ecol. Manage.* 72: 229-234.
- Wright A., J. 1999. Utilización y calidad de los productos mejorados de *Pinus patula* en plantaciones manejadas sosteniblemente. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 99 p.
- Xu, Y. M.; Lin, H; Wei, B. S.; Zheng, H. B. y Fu, Q. 2002. Effects of thinning intensities on wood properties of exotic slash pine plantation. *Journal of Northeast Forestry University*. 30(2):38-42.
- Yin Z., S.; D. Simpson y E. K. Morgenstern. 1996. Variation in the Relationship of Wood Density With Growth in 40 Black *Spruce (Picea mariana)* Families Grown in New Brunswick. *Wood and Fiber Science*. 28(1): 91-99.
- Zahner, R. y F. W. Whitmore. 1960. Early growth of radically thinned loblolly pine. *J. For.* 58(8):628-634.

- 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.
- Zhang, S. Y., G. Chauret, D. E. Swift, AND I. Duchesne. 2006. Effects of precommercial thinning on tree growth and lumber quality in a jack pine stand in New Brunswick, Canada. Can. J. For. Res. 36(4): 945-952.
- Zobel, B. J. y Van Buijtenen, J. P. 1989. Wood variation. Its causes and control. Springer Verlag, 363 p.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1994. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México, D. F. pp 413-424.

## ANEXOS

### COEFICIENTES DE CORRELACIÓN DE LAS VARIABLES ESTUDIADAS

Cuadro 11. Coeficientes de correlación de Pearson, entre las 4 variables estudiadas para la calidad de sitio alta.

	ANCHANILL	MTAR	MTEM	DB
<b>ANCHANILL</b>	1.000	-0.22044 <.0001	0.22044 <.0001	<b>0.03319</b> 0.3146
<b>MTAR</b>		1.000	-1.00000 <.0001	0.25364 <.0001
<b>MTEM</b>			1.000	-0.25364 <.0001
<b>DB</b>				1.000

Cuadro 12. Coeficientes de correlación de Pearson, entre las 4 variables estudiadas para la calidad de sitio baja.

	ANCHANILL	MTAR	MTEM	DB
<b>ANCHANILL</b>	1.000	-0.17623 <.0001	0.17623 <.0001	<b>-0.05574</b> 0.1062
<b>MTAR</b>		1.000	-1.00000 <.0001	0.28548 <.0001
<b>MTEM</b>			1.000	-0.28548 <.0001
<b>DB</b>				1.000