

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



DENSIDAD DE LA MADERA EN REGENERACIÓN DE  
*Pinus teocote* Schl. et Cham. DEL NORESTE DE MÉXICO

POR:  
JOSÉ TOMÁS MONARREZ VALENZUELA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DENSIDAD DE LA MADERA EN REGENERACIÓN DE  
*Pinus teocote* Schl. et Cham. DEL NORESTE DE MÉXICO

POR:  
JOSÉ TOMÁS MONARREZ VALENZUELA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

---

ASESOR PRINCIPAL

---

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE  
AGRONOMÍA

M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

M.C. ARNOLDO OYERVIDES GARCÍA

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

NOVIEMBRE DE 2004

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE FORESTAL

DENSIDAD DE LA MADERA EN REGENERACIÓN DE  
*Pinus teocote* Schl. et Cham. DEL NORESTE DE MÉXICO

POR  
JOSÉ TOMÁS MONARREZ VALENZUELA

TESIS PROFESIONAL

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA POR:

ASESOR PRINCIPAL

\_\_\_\_\_  
M.C. SALVADOR VALENCIA MANZO

ASESOR

\_\_\_\_\_  
M.C. CELESTINO FLORES LÓPEZ

ASESOR

\_\_\_\_\_  
M.C. ANDRÉS NÁJERA DÍAZ

BUENAVISTA, SALTILLO, COAHUILA, MÉXICO.

NOVIEMBRE DE 2004

## DEDICATORIA

**A mis padres,** Juan Bernardino Monarrez Colunga y Gregoria Valenzuela Holguín, por haberme enseñado a ser lo que soy, por la confianza y cariño que en mi han depositado.

**A mis hermanos,** Julio César, Mario Alberto, Iván Abel y a Gabriela Rebeca, por todos aquellos momentos alegres que hemos vivido y por el apoyo que me han brindado.

**A mis tíos y tías,** María Teresa García Monarrez, Julia Monarrez, Marcial Valenzuela H., Herlinda Valenzuela H., Arturo Valenzuela H., Ferman Valenzuela, Antonino Valenzuela, José Valenzuela H., Darío Monarrez C., y Josefa Monarrez C., por el cariño y el apoyo que me brindaron de una u otra forma a lo largo de mi carrera.

**A mis grandes amigos,** Abel López Méndez, Marco Antonio Cepedad Valerio y Roberto Santiago Pablo por brindarme su valiosa e incondicional amistad.

**A mis grandes amigas,** Delia Rico Tinajero, Emma Díaz Ramírez y Nayeli Tinajero, por esos grandes momentos que hemos convivido y por todos los momentos compartidos.

## AGRADECIMIENTOS

**A mi “ALMA TERRA MATER”** por acogerme en su seno y darme la oportunidad de realizar mis estudios para formarme profesionalmente.

**Al personal del Departamento Forestal**, que de una u otra forma contribuyeron a mi formación como profesionista, y por los apoyos recibidos para la realización de este trabajo.

**Al personal del Departamento de Ciencias Básicas**, en especial a la T. L. María De Jesús Velásquez por su ayuda y apoyo durante el trabajo de laboratorio del presente estudio.

**Al M.C. Salvador Valencia Manzo**, por todo el apoyo otorgado y asesoría que desinteresadamente brindó para que este trabajo quedara lo mejor posible ya que sin su ayuda no hubiera sido posible.

**Al M.C. Celestino Flores López**, por su paciencia y dedicación que me brindó para la realización del presente trabajo.

**Al M.C. Andrés Nájera Díaz**, por sus valiosas sugerencias para hacer mejor este trabajo.

**A mis amigos y amigas**, de la generación XCVI de la carrera de Ingeniero Forestal por todos los momentos y experiencias que compartí con ellos: Abel López M., Álvaro Monsalvo E., Arvey Velásquez S., Damián Sánchez M., Eliseo Jarillo M., Gilberto Pacheco M., Jorge L. Cuevas H., Juan J. Hernández S., Juan Mendoza M., Julio C. Rodas B., Librado Martínez G., Manuel Mendoza H., Marco A. Cepeda V., Modesto Curiel A., Nayeli Tinajero, Neftalí Yáñez, Pedro Ornelas I., Rafael Cahuich R., Roberto Maldonado C., Roberto Santiago P., Rodrigo Torres H., Sergio Lara Contreras y Valentín García P.

**Al compañero y amigo**, Modesto Curiel Ávila por la ayuda otorgada en la realización del mapa del área de estudio.

**A todas aquellas personas y amigos**, que de alguna forma ayudaron a mi formación y que me apoyaron durante mi estancia en la Universidad y que en este momento mi mente deja escapar.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo e hipótesis.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 <i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham.....	3
2.1.1 Ecología y distribución.....	3
2.1.2 Importancia.....	4
2.2 Densidad de la madera.....	4
2.2.1 Importancia de la densidad de la madera.....	6
2.2.2 Estimación de la densidad de la madera.....	7
3.1 Variación natural.....	9
3.1.1 Niveles de variación.....	9
4.1 Formación de la madera.....	11
4.1.1 Tipos de madera.....	12
5.1 Correlación de la madera juvenil con la madera madura.....	13
III MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Descripción del área de estudio.....	14
3.1.1 Localización.....	14

3.1.2	Clima.....	14
3.1.3	Geología y suelo.....	17
3.1.4	Vegetación.....	17
3.2	Trabajo de campo.....	17
3.3	Trabajo de laboratorio.....	18
3.3.1	Determinación de la densidad de la madera.....	19
3.4	Análisis estadístico.....	20
3.4.1	Método y procesamiento de análisis.....	21
IV	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1	Medidas de tendencia central y de dispersión de la densidad de la madera.....	23
4.2	Análisis de varianza y componentes de varianza.....	27
4.2.1	Variación entre poblaciones.....	29
4.2.2	Variación entre árboles.....	31
4.2.3	Variación dentro del árbol.....	32
4.3	Correlación.....	34
V	CONCLUSIONES.....	35
VI	RECOMENDACIONES.....	36
IV	LITERATURA CITADA.....	37
	APÉNDICE.....	41



## NDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro	
1. Ubicación geográfica de doce poblaciones de regeneración natural de Pinus teocote Schl. et Cham. del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.....	16
2. Componentes de los cuadrados medios esperados para la densidad de la madera de regeneración de Pinus teocote Schl. et Cham. del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León .....	21
3. Medidas de tendencia central y de dispersión para la densidad de la madera de Pinus teocote Schl. et Cham., en poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.....	23
4. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad (gcm-3) en relación a su peso anhidro sobre su volumen verde, desarrollada por Markward y Heck., (Tomado de Echenique y Díaz, 1972).....	24
5. Análisis de varianza y de componentes de varianza para la densidad de la madera en regeneración de Pinus teocote Schl. et Cham. para las poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.....	28
6. Valores de densidad de la amdera para Pinus teocote Schl. et Cham. en poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.....	29

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Figura	Página
1. Localización geográfica del área de estudio.....		15
2. Tendencia de la densidad de la madera de acuerdo a la altura del arbolado en regeneración de <i>Pinus teocote</i> Schl. et Cham. para las poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo Leon.....		33

## RESUMEN

En el presente estudio se determinó la densidad de la madera en poblaciones de regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. et Cham. del noreste de México, para conocer el nivel de variación entre poblaciones, entre árboles dentro de las poblaciones y entre diferentes alturas del fuste del arbolado.

Se utilizaron 12 poblaciones, seleccionando en cada una de 2 a 6 árboles mayores o iguales a 1.3 m y menores a 4 m, con un total de 54 árboles. De cada árbol se obtuvieron rodajas de 2 cm de grosor, la primera a 0 m, la segunda a 0.30 m y las siguientes a cada 0.5 m de distancia hasta llegar al ápice. Cada rodaja fue seccionada a la mitad, de cada muestra se estimó la densidad de la madera, por el método de máximo contenido de humedad. Se realizó el análisis de varianza y de componentes de varianza, bajo un diseño completamente al azar, con arreglo anidado o jerárquico. Se realizaron análisis de correlación entre densidad de la madera con variables fisiográficas y climáticas.

Se obtuvo una densidad promedio de  $0.41 \text{ g cm}^{-3}$ , con un valor máximo de  $0.61 \text{ g cm}^{-3}$  y un valor mínimo de  $0.21 \text{ g cm}^{-3}$ . El CV fue de 15.87%. Hubo diferencias estadísticas entre árboles y dentro de árboles pero no entre poblaciones. La contribución de árboles, dentro del árbol y poblaciones, a la varianza total fue de 27.8%, 37.9% y 3.5%, respectivamente. No se encontraron correlaciones entre la densidad de la madera y las variables fisiográficas y climáticas.

## I INTRODUCCIÓN

Las coníferas son muy frecuentes en las zonas de clima templado, existiendo también para otras zonas de México. Tienen una gran amplitud de diversidad florística y ecológica, encontrándolas desde el nivel del mar, hasta zonas altas de la montaña. Pueden existir en regiones de clima semiárido, semihúmedo e inclusive existen en condiciones edáficas especiales (Rzedowski, 1978).

En México existen varias especies de *Pinus*, entre las cuales se encuentra *P. teocote* Schl. et Cham. quien es el objeto de estudio para este trabajo. Tiene una amplia zona de distribución, por lo que presenta variaciones tanto en sus conos como en sus hojas, generalmente esta especie se puede encontrar en altitudes de 1,400 a 3,000 msnm (Martínez, 1948).

La densidad de la madera es una propiedad de gran heredabilidad y ésta tiende a incrementar conforme la edad del árbol aumenta debido a que en la formación de los anillos se presenta un mayor porcentaje de madera tardía (Daniel *et al.*, 1982). Es importante tener un conocimiento detallado acerca de la densidad de la madera ya que sólo así es posible saber la respuesta que van a tener los productos elaborados con la madera *Pinus teocote*.

## 1.1 Objetivos e hipótesis

Los objetivos del presente estudio fueron los siguientes:

1. Determinar la variación de la densidad de la madera de regeneración de *Pinus teocote*, de doce poblaciones de su distribución nativa, así como también entre árboles dentro de localidades y entre alturas dentro de árboles.
2. Determinar el grado de correlación entre densidad de la madera y factores fisiográficos y climáticos de doce poblaciones de regeneración de *Pinus teocote*.

Las hipótesis nulas propuestas fueron:

Ho: No existe variación de la densidad de la madera entre las doce poblaciones, entre árboles dentro de poblaciones y dentro de árboles de *Pinus teocote*.

Ho: No existe correlación entre la densidad de la madera y factores fisiográficos y climáticos entre las doce poblaciones de regeneración de *Pinus teocote* en estudio.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 *Pinus teocote* Schl. et Cham.

*Pinus teocote* fue clasificado por Schechtendal y Chamizo en 1830 (Eguiluz, 1978), y recibe varias sinonimias entre las cuales se tiene: *Pinus besseriana* Roetzl; *Pinus patula* var. *stricta* Benth. ex Endl.; *Pinus mulleriana* Roetzl; *Pinus microcarpa* Roetzl; y *Pinus hugelii* Roetzl ex Carrière. Por su amplia distribución en México, presenta algunas semejanzas con el *Pinus lawsoni* en el sur y en el norte con el *Pinus arizonica* (Martínez, 1948).

#### 2.1.1 Ecología y distribución

Se presenta en altitudes de 1,400 a 3,000 msnm (Martínez, 1948). Crece en lugares de buen drenaje, con pH de 6 a 7.5. Se considera que esta especie frecuente climas templados húmedos (Eguiluz, 1978). *Pinus teocote* se asocia con varias especies del género *Pinus* entre los cuales destacan: *Pinus leophylla* Schl. et Cham., *P. montezumae* Lamb., *P. oocarpa* var. *ochoteranae*, *P. patula* Schl. et Cham., *P. pinceana* Gordon, *P. pseudostrobus* var. *estevezii*, *P. rudis* Endl., *P. chihuahuana* Engelmann, *P. cembroides* Zucc., *P. engelmannii* Carr. y *P. lawsonii* Roetzl (Rzedowski, 1978).

Se ha reportado para los estados de Aguascalientes (Eguiluz, 1978), Coahuila, Chiapas, Chihuahua, D.F., Durango, Guanajuato, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, México, Michoacán, Morelos, Nayarit, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, San Luís Potosí, Sinaloa, Tamaulipas, Tlaxcala, Veracruz y Zacatecas (Martínez, 1948).

### 2.1.2 Importancia

La madera de este pino es fuerte y de buena calidad, se utiliza principalmente para construcciones y como combustible, así como también es una especie que produce abundante trementina (Martínez, 1948). Su madera es muy buena, por lo que se usa para aserrío, celulosa, papel, cajas de empaque, pilotes para minas, durmiente, en construcciones, además es usual para carbón, postes y muebles para el hogar (Eguiluz, 1978).

### 2.2 Densidad de la madera

El peso específico y la densidad de la madera son distintas formas de expresar la relación que existe entre el peso y el volumen. El peso específico es el peso de un volumen entre el peso de un volumen igual de agua, por lo que su expresión carece de unidades, mientras que la densidad es la relación del peso entre el volumen y su expresión puede ser en  $\text{kg m}^{-3}$  ó  $\text{lb pie}^{-3}$  (Zobel y Talbert, 1988).

La densidad de la madera es una propiedad que está estrechamente correlacionada con el grosor de la pared celular (Zobel y Talbert, 1988), ya que si se afecta la anchura de la madera temprana también lo hace la densidad de la madera, como en el caso del trabajo realizado por Hernández *et al.* (1996), en la región de Chignahuapan-Zacatlán, Puebla, en dos rodales aclareados de *Pinus patula* Schl. *et* Cham., los autores concluyen en el trabajo que el aclareo afectó significativamente las características de los anillos de crecimiento, en anchura de madera temprana y madera tardía.

En especies latifoliadas la densidad de la madera disminuye desde la médula hacia la circunferencia exterior del tronco, mientras que en coníferas se presenta una tendencia inversa (Hocker, 1984). Este patrón es reportado en *Pinus rudis* (López A., 1997), *P. engelmannii* (Tzab, 2002) y *P. teocote* (Trujillo, 1999). Sin embargo, no siempre se presenta esta tendencia; en un trabajo hecho en *Abies alba* Mill. y *Pinus radiata* D. Don de España, al analizar la variabilidad de la densidad de la madera dentro del árbol se encontró que ésta disminuye con la altura del arbolado y es mayor en las proximidades a la médula, así como en la parte más externa del tronco (Rodríguez *et al.*, 2001).

La densidad de la madera se incrementa conforme la edad del árbol aumenta, porque en la formación de los anillos de crecimiento se presenta una mayor proporción de madera tardía (Daniel *et al.*, 1982); es decir, la densidad de la



madera está relacionada principalmente con la edad, y ésta a su vez, de manera positiva, con la altura del arbolado por lo menos, así es reportada para *Pinus greggii* del norte de México (López L., 1997).

### 2.2.1 Importancia de la densidad de la madera

La composición, cantidad, disposición y orientación de los componentes químicos que forman la pared celular, determinan las características físicas y mecánicas de la madera, estas propiedades se pueden modificar de acuerdo a las circunstancias que intervienen en el funcionamiento fisiológico del árbol (Díaz, 1988). Por ejemplo, en aclareos de *Pinus patula* se tiene como resultado modificaciones en los anillos de crecimiento, en anchura total y en la anchura de madera temprana y madera tardía, lo que afecta a su vez a la densidad de la madera (Hernández *et al.*, 1996).

La densidad de la madera es de suma importancia ya que determina el uso posterior que va a tener la madera de acuerdo a la cantidad de celulosa, su fuerza, y sus cualidades mecánicas (Hocker, 1984). En el caso de celulosa se ha encontrado que la densidad de la madera es una de las propiedades que determinan la impresión así como también influye de manera directa e indirecta con la calidad de la pulpa para papel (Tamarit, 1996). En el caso de uso de la madera como combustible, la densidad está relacionada con el número de unidades caloríficas producidas (Zobel y van Buijtenen, 1989).

Es importante tomar en cuenta que la densidad de la madera varía entre árboles de la misma edad y la misma especie que crecen en un mismo sitio, inclusive puede ser fundamental para modificarla de acuerdo a los intereses que convengan al productor (Zobel y Talbert , 1988), además la densidad de la madera en muchas especies no es afectada por el factor sitio y es altamente heredable (Ortega, 1999).

### 2.2.2 Estimación de la densidad de la madera

Para la estimación de la densidad de la madera se pueden utilizar diversos métodos entre los cuales están: el método empírico, el método de desplazamiento de agua y el método de máximo contenido de humedad.

#### a) Método empírico

En este método, la muestra de madera se considera como un cilindro perfecto y es utilizado para calcular la densidad de la madera en muestras pequeñas obtenidas con taladro de Pressler. Primeramente se mide la longitud de la muestra cuando ésta se encuentra saturada de humedad, después se calcula el diámetro, para obtener el volumen de la muestra en verde. Posteriormente se determina el peso anhidro, sometiendo la muestra en una estufa de secado a una temperatura de  $105 \pm 5$  °C. Después se divide el peso anhidro entre el volumen verde para obtener la densidad (Valencia y Vargas, 1997).

b) Método de desplazamiento de agua

Primeramente las muestras son saturadas de humedad en un recipiente con agua normal. Para obtener el volumen por desplazamiento en agua se coloca un recipiente con agua sobre una balanza analítica, después se introduce cada muestra procurando que no toque las paredes ni el fondo del recipiente, de modo que se obtiene el peso del agua desplazada, la cual corresponde al volumen de la muestra considerando la densidad del agua como una unidad. Posteriormente se secan las muestras en una estufa de secado a  $105 \pm 5$  °C. Enseguida se divide el peso anhidro entre el volumen verde para obtener la densidad (Valencia y Vargas, 1997).

c) Método de máximo contenido de húmedo

Las muestras de madera se colocan en un recipiente con agua para posteriormente colocarlo en una cámara de vacío, esto para agilizar y lograr una penetración total del agua en las muestras, durando un periodo aproximado de 24 horas. Después las muestras se pesan en una balanza analítica, quitando el exceso de agua, obteniendo así el peso saturado. Posteriormente las muestras se secan mediante la estufa de secado a una temperatura de 105 a 110 °C. Y por último se procede al cálculo de la densidad por medio de la siguiente fórmula (Smith, 1954):

$$DM = \frac{1}{\frac{P_s - P_a}{P_a} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

DM = Densidad de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Ps = Peso saturado (g)

Pa = Peso anhidro (g)

1.53 = Constante (gravedad específica de la madera sólida)

### 3.1 Variación natural

La variación es la tendencia que se manifiesta en los individuos a diferenciarse unos de otros, es decir, es una tendencia opuesta a la herencia (de la Loma, 1979). Las variaciones pueden ser debido a la estructura genética, así como, a factores del ambiente (Zobel, 1961).

#### 3.1.1 Niveles de variación

Los tipos de variación son una forma de entender las diferencias que puedan existir entre especies, dentro de una especie, e incluso en individuos y dentro de individuos. A continuación se describen diferentes niveles de variación de acuerdo a Zobel y Talbert (1988).

Variación geográfica. En este tipo de variación las diferencias suelen ser grandes especialmente en características relacionadas con la adaptabilidad. Este tipo de

variación dentro de la especie por lo general no es fácil de determinar, ya que no existe una separación ambiental que las pueda distinguir (Zobel y Talbert, 1988). Por ejemplo, para densidad de la madera de *Pinus engelmannii* de Chihuahua, se encontraron diferencias entre diferentes regiones de la Sierra Tarahumara (Tzab, 2002); mientras que para *Pinus strobus* var. *chiapensis* no se encontraron diferencias entre regiones de Veracruz y Oaxaca (Yáñez y Caballero, 1991).

Variabilidad entre sitios. Hay ocasiones en que una determinada especie, crece en varios sitios por lo que esto afecta el crecimiento y desarrollo de la especie. Por ejemplo, los árboles en forma de arbusto que crecen en las dunas cerca del mar, donde soplan los vientos constantes, pueden crecer normalmente cuando se plantan tierra adentro (Zobel y Talbert, 1988).

Diferencias entre rodales dentro de sitios. Las diferencias que pueden existir entre rodales dentro de un sitio pueden ser muy pocas, pero debido a la presencia del hombre si hay diferencias, ya que por lo general el hombre ha aprovechado especies con buenas características morfológicas, dejando sólo árboles con fenotipos malos. Un ejemplo de esto es cuando se observa, rodales de fuste recto creciendo cerca de rodales de árboles torcidos (Zobel y Talbert, 1988).

Diferencia entre árboles. Los árboles que se encuentran dentro de un rodal tienen diferentes características entre si y dichas características suelen estar controladas genéticamente (Zobel y Talbert, 1988). Por ejemplo se ha encontrado variación en

la densidad de la madera entre árboles, de *Pinus rudis* (López A., 1997), *Pseudotsuga* sp (Zúñiga 1998), *Pinus teocote* (Trujillo, 1999), *P. arizonica* (Arroyo, 2001) y *P. engelmannii* (Tzab, 2002).

Variación dentro de un árbol. Algunas características son variables dentro de un mismo árbol por ejemplo: peso específico, longitud de traqueidas y las características del follaje (Zobel y Talbert, 1988). En un trabajo realizado por Yáñez y Caballero (1991) al estudiar la densidad de la madera de *Pinus pseudostrobus*, encontraron, que presenta variaciones según las diferentes alturas del fuste.

#### 4.1 Formación de la madera

La madera está compuesta principalmente por tres polímeros, los cuales son: celulosa, hemicelulosa y lignina. La madera se forma al iniciarse la división celular del cambium, creando nuevas paredes en la célula. Durante esta fase la pared de la célula se hace más espesa. La celulosa y hemicelulosa se sintetizan creando una pared celular secundaria. La lignina se forma antes de concluir esta fase. Mientras tanto alrededor de la célula se forma una capa intercelular. Finalmente la lignificación inicia en la pared secundaria, después las células y los restos del citoplasma se depositan en la pared del lumen, formando una laminilla o una membrana verrugosa (Kollman, 1968).

#### 4.1.1 Tipos de madera

La madera temprana posee células con una pared más larga y más fina que las células de madera tardía (Hocker, 1984), y también es mucho más débil (Kollman, 1968). Se dice que la madera tardía se forma a inicios del año, generalmente es de color café claro. Mientras que la madera tardía es de un color más oscuro o negra, debido a que posee una pared más gruesa, lo cual puede ser el doble o mayor que el lumen. En las coníferas, la madera tardía es la que generalmente determina las diferencias en las propiedades de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

La madera juvenil se forma cerca de la copa del árbol, sin importar la madurez de éste. Tiene la forma de un cilindro, en el centro del fuste del árbol, el cual se extiende desde la base hasta la copa del árbol (Zobel y Talbert, 1988). Se caracteriza por tener una baja densidad, por el escaso porcentaje de madera tardía en ella, por su bajo contenido de celulosa, y traqueidas más cortas, así como la mayor espiral de su grano y por lo general la presencia de madera de compresión. En conclusión es una madera de poca resistencia, baja proporción de pulpa y elevada contracción, lo que la hace indeseable para muchas aplicaciones específicas (Daniel *et al.*, 1982).

La madera madura se encuentra rodeando a la madera juvenil dentro del árbol, en coníferas generalmente se puede ver después de los 10 a 15 anillos de

crecimiento anual, que se encuentran cerca de la médula o de cualquier entrenudo (Daniel *et al.*, 1982). Se diferencia de la madera juvenil por tener un peso específico más alto y paredes celulares gruesas, por lo que este tipo de madera es más estable que la juvenil. Existe más madera madura en la base que cerca de la copa (Zobel y Talbert, 1988).

### 5.1 Correlación de la madera juvenil con la madera madura

La correlación es una forma de medir el grado en que dos variables varían conjuntamente o se asocian, es decir dice algo sobre la relación conjunta entre dos variables. Cuando las variables están afectadas en forma conjunta por causas externas, la correlación puede ofrecer el enfoque más lógico para analizar los datos (Steel y Torrie, 1988). La madera juvenil y madura aparentemente están relacionadas con la madurez de las células del cámbium afectado por el balance hormonal, por lo que desde hace tiempo se ha reconocido la semejanza que puede haber en las propiedades de la madera juvenil con la madera madura ya que pueden estar correlacionadas (Zobel y Talbert, 1988). En un trabajo realizado por Valencia (1994), se estudio la correlación entre la densidad de la madera juvenil y la madera madura, de *Pinus patula*, encontrando una correlación de 0.789. Por lo que para muchos casos se puede considerar que aquellos árboles que tengan una mayor densidad de la madera juvenil, son los que presentaran una densidad mayor en la madera madura, como también se reportó para *Pinus greggii* del norte de México (López L., 1997).



### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área de estudio

##### 3.1.1 Localización

El área de estudio está comprendida en los estados de Nuevo León y Coahuila, entre los meridianos  $100^{\circ} 35' 41''$  y  $99^{\circ} 44' 01''$  de longitud Oeste y entre los paralelos  $23^{\circ} 54' 61''$  y  $25^{\circ} 29' 27''$  de latitud Norte, en la Sierra Madre Oriental (Figura 1). Comprende doce poblaciones de regeneración de *Pinus teocote*, dos de Coahuila y diez de Nuevo León. Para cada uno de las poblaciones en el Cuadro 1 se muestra el paraje, el municipio, el estado, altitud y las coordenadas geográficas (latitud y longitud) registradas con un receptor GPS.

##### 3.1.2 Clima

El clima predominante para las poblaciones, es un clima templado con verano fresco, una temperatura media anual que va desde  $13^{\circ}\text{C}$  hasta  $16^{\circ}\text{C}$ , con un régimen de lluvias en verano y una precipitación media anual de 550 mm (García, 1987; INEGI, 1990a, 1990b).

***Мара***

# *Cuadro 1*

### 3.1.3 Geología y suelo

En las poblaciones del área de estudio la geología es semejante, predominando rocas sedimentarias, mezclada con lutita, lutita arenisca y caliza (Cetenal, 1976; Cetenal, 1977a). La edafología comprendida para las poblaciones presenta suelos feozem calcárico, castañozem cálcico, luvisol crómico, litosol y regosol calcárico, rendzina con castañozem y acrisol mezclado con térrico y órtico (Cetenal, 1977b; Detenal, 1977).

### 3.1.4 Vegetación

Las especies que se asocian y sobresalen principalmente para las diferentes poblaciones son: *Pinus greggii*, *P. cembroides*, *P. ayacahuite brachiptera* Shaw., *P. ayacahuite* Ehrenb, *P. ayacahuite* var. *veitchii* Shaw, *Juniperus* sp y *Agave atrovirens*, asociadas con especies como: *Juniperus arizonica*, *Juniperus monosperma*, *Arcthostaphylus pungens*, *Quercus* sp, *Arbutus xalapensis*, *Abies* sp, *P. pseudostrobus estevezi* y *Acacia farneciana* , entre otras (Martínez, 1948).

## 3.2 Trabajo de campo

Se seleccionaron 12 poblaciones que presentaran regeneración natural, sin daño por algún tipo de aprovechamiento. Después se seleccionaron árboles los cuales tuvieron una altura superior a 1.30 metros pero menor a 4 metros.

Los árboles seleccionados estuvieron libres de plagas y enfermedades, sin bifurcación, así como también sin daños mecánicos y que no tuvieran competencia por lo menos dos veces la longitud de su copa. La mínima distancia entre árboles seleccionados fue de 100 m.

Los árboles seleccionados se derribaron con una segueta metálica, desde la base, se obtuvieron rodajas de 5 centímetros de espesor; la primer rodaja se obtuvo al hacer el corte al nivel del suelo, la segunda se cortó a 0.30 m, y las demás se obtuvieron cada 0.5 m hasta llegar al ápice.

### 3.3 Trabajo de laboratorio

Cada rodaja se descortezó con la ayuda de una navaja, con la finalidad de que se facilitara la saturación de las muestras así como el secado de las mismas para que no infiera en los resultados de análisis de la densidad.

Las rodajas fueron cortadas a un grosor de aproximadamente 2 cm, con la ayuda de una sierra de disco. Se seccionaron en dos partes utilizando una segueta metálica y una prensa para sujetar las rodajas y realizar el corte. Después se realizó el marcado en cada rodaja, con su respectiva clave, donde el primer número fue de la población, el segundo número identificó el árbol dentro de la

población, el tercer número indicó la posición de la rodaja en el árbol y el último número indicó el lado de la rodaja. Por ejemplo, la clave 2/5/3/A, indica que la muestra esta en la población 2, del árbol número 5, con una posición en el árbol de 3 es decir a una altura de 0.80 m y la letra A se refiere al lado de la rodaja.

### 3.3.1 Determinación de la densidad de la madera

Las muestras fueron colocadas en un recipiente con agua, procurando que las mismas estuviesen sumergidas, hasta que presentaran un peso constante, lo cual se logró alrededor de los 90 días. Para pesar las muestras saturadas de humedad, se empleó una balanza analítica, con precisión de 0.0001 g; al ser sacadas del agua se pasaron por una franela húmeda, esto para evitar el exceso de agua. Se emplearon pinzas para evitar tocarlas directamente y no inferir en el contenido de humedad.

Posteriormente se procedió a obtener el peso anhidro, para lo cual, primero se dejaron las muestras a temperatura ambiente durante 24 horas aproximadamente, esto con la finalidad de eliminar el exceso de agua; después fueron colocadas en una estufa a  $105 \pm 5$  °C, para eliminar el contenido de humedad hasta lograr el peso anhidro, el cual se logró aproximadamente en 15 días. Para realizar el pesado de las muestras en estado anhidro, se empleó la misma balanza analítica. En este caso las muestras se colocaron en una campana de desecación que

contenía en su interior sílicagel, el cual absorbe la humedad del ambiente, allí se dejaron enfriar por alrededor de cinco minutos, para llevar las muestras a la balanza éstas fueron sujetadas con unas pinzas para impedir que absorbieran humedad.

Una vez obtenidos los pesos saturado y anhidro de cada muestra se prosiguió al cálculo de la densidad de la madera, por medio del método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954).

### 3.4 Análisis estadístico

Para la variable en estudio, densidad de la madera, se realizó un análisis de varianza, utilizando un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, para muestras de clasificación jerárquica o efectos anidados, obtenidas de poblaciones normales (Steel y Torrie, 1988).

Para el análisis de los datos de densidad de la madera se consideraron tres fuentes de variación: diferencias entre poblaciones, diferencias entre árboles y diferencia entre alturas dentro del árbol. El modelo que se aplicó, de acuerdo a Snedecor y Cochran (1981), fue el siguiente:

$$Y_{ijkl} = \mu + P_i + A_{i(j)} + HR_{i(j,k)} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

$Y_{ijkl}$  = valor de la variable

$\mu$  = media de la población para la característica en estudio

$P_i$  = efecto debido a poblaciones

$A_{i(j)}$  = efecto debido a árboles dentro de poblaciones

$HR_{ij(k)}$  = efecto debido a altura de rodajas dentro de árboles

$E_{ijkl}$  = efecto aleatorio (error de muestreo entre secciones)

$i = 1, 2, 3, \dots a$  (número de poblaciones)       $j = 1, 2, 3, \dots r$  (número de árboles)

$k = 1, 2, 3, \dots s$  (número de rodaja)       $l = 1, 2, 3, \dots n$  (número de sección)

Se realizó un análisis de componentes de varianza considerando el mismo modelo estadístico. Los cuadrados medios esperados se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados para la densidad de la madera de regeneración de *Pinus teocote* Schl. y Cham. del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.

F.V.	gl	Cuadrados medios	Esperanza de los cuadrados medios
Loc. (l)	$l - 1$	CM Pob.	$\sigma^2_e + K_3 \sigma^2_{r(l,a)} + K_5 \sigma^2_{a(l)} + K_6 \sigma^2_l$
Arb. (a)	$l(a - 1)$	CM Arb.	$\sigma^2_e + k_2 \sigma^2_{r(l,a)} + K_4 \sigma^2_{a(l)} + K_1 \sigma^2_{r(l,a)}$
Rod. (r)	$la(r-1)$	CM Rod.	$\sigma^2_e + k_1 \sigma^2_{r(l,a)}$
Error (e)	$lar(n-1)$	CM Error	$\sigma^2_e$

Arb.= árbol, CM = cuadrado medio, F.V.= fuente de variación, gl = grados de libertad, n = número de poblaciones,  $k_{1...6}$  = coeficiente asociado a los componentes de varianza,  $\sigma^2_a$  = varianza entre altura del árbol,  $\sigma^2_e$  = varianza del error,  $\sigma^2_l$  = varianza entre localidad, Rod.= rodaja,  $\sigma^2_r$  = varianza entre rodajas, Pob.= poblaciones.

### 3.4.1 Método y procesamiento de análisis

Se creó una base de datos en el programa computacional SAS (Statistical Analysis System), correspondiente a los datos que se obtuvieron en el laboratorio,



mismos que después fueron procesados y analizados. En este sistema se calculó la densidad de la madera, a partir de los pesos saturado y anhidro de las muestras, se realizó la prueba de normalidad de los datos usando el procedimiento univariate de SAS.

Después se estimó el valor promedio y diversas medidas de dispersión, mediante el procedimiento means. Posteriormente se realizó el análisis de varianza y de componentes de varianza, con los procedimientos glm y varcomp (Apéndice 1). Para estimar la contribución porcentual de cada fuente de variación, se emplearon los valores de los componentes de varianza estimados.

También se realizó un análisis de correlación de Pearson, mediante el procedimiento corr, entre la densidad de la madera y variables fisiográficas y climáticas (latitud, longitud, precipitación de verano y precipitación de invierno).

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Medidas de tendencia central y dispersión de la densidad de la madera

El valor promedio general de la densidad de la madera que se encontró para las doce poblaciones del sur de Nuevo León y sureste de Coahuila de *Pinus teocote* en poblaciones fue de  $0.41 \text{ g cm}^{-3}$ , con un valor mínimo de  $0.21 \text{ g cm}^{-3}$  y un valor máximo de  $0.61 \text{ g cm}^{-3}$  (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medidas de tendencia central y de dispersión para la densidad de la madera de regeneración de *Pinus teocote* Schl. y Cham., en poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.

V	n	Valor mínimo ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Valor medio ( $\text{g cm}^{-3}$ )	Valor máximo ( $\text{g cm}^{-3}$ )	S ( $\text{g cm}^{-3}$ )	C.V. (%)	Error estándar ( $\text{g cm}^{-3}$ )
DM	468	0.21	0.41	0.61	0.0659	15.87	0.003

V= variable DM= densidad de la madera n= número de observaciones S= desviación estándar C.V.= coeficiente de variación.

Considerando una distribución normal de esta característica (Apéndice 2), se tiene que la media  $\pm$  una desviación estándar, el 67 % de la población tendría valores entre  $0.344$  y  $0.476 \text{ g cm}^{-3}$ . A su vez, con un 95 % de confianza, la media poblacional se encuentra entre  $0.402$  y  $0.418 \text{ g cm}^{-3}$ .

El valor promedio de densidad de la madera corresponde a una madera “moderadamente liviana” de acuerdo a la clasificación desarrollada por Markward y Heck (Echenique y Díaz, 1972) (Cuadro 4). De acuerdo a dicha clasificación, la madera de esta especie, puede utilizarse para mangos de herramientas, torneados y artesanías (Ordóñez *et al.*, s/f), así como para aserrío, celulosa, papel, cajas de empaque, pilotes para minas, durmiente, en construcciones, para carbón, postes y muebles para el hogar (Eguiluz, 1978).

Cuadro 4. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad ( $\text{g cm}^{-3}$ ) en relación a su peso anhidro sobre su volumen verde, desarrollada por Markward y Heck (Echenique y Díaz, 1972).

Relación de la densidad de la madera	
D.M.= $\text{Pa}/\text{V}_\text{V}$	Terminología
Menor de 0.20	Extremadamente liviana
de 0.20 a 0.25	Excesivamente liviana
de 0.25 a 0.30	Muy liviana
de 0.30 a 0.36	Liviana
de 0.36 a 0.42	Moderadamente liviana
de 0.42 a 0.50	Moderadamente pesada
de 0.50 a 0.60	Pesada
de 0.60 a 0.72	Muy pesada
de 0.72 a 0.86	Excesivamente pesada
mayor de 0.86	Extremadamente pesada

D.M. = densidad de la madera. Pa = peso anhidro.  $\text{V}_\text{V}$ = volumen verde.

En la revisión de literatura no se encontraron trabajos de densidad de la madera en regeneración para la misma especie, únicamente se tiene de referencia un trabajo en regeneración de *Pinus estevezii*, del Sur de Nuevo León, en donde se encontró una densidad de la madera de  $0.397 \text{ cm}^{-3}$ , empleando 1160 muestras tomadas a diferentes alturas del fuste de 23 poblaciones (López M., 2004), e inclusive tuvo la misma clasificación de la madera que fue moderadamente liviana (Echenique y Díaz, 1972).

El valor promedio ( $0.41 \text{ g cm}^{-3}$ ) del presente estudio comparado con trabajos hechos en arbolado adulto para la misma especie es inferior al reportado para arbolado del Ejido La Trinidad, Montemorelos, N.L. ( $0.47 \text{ g cm}^{-3}$ ) en un estudio con 578 muestras de madera (Trujillo, 1999), así como el valor reportado por Ordóñez *et al.*, (s/f) ( $0.51 \text{ g cm}^{-3}$ ) al analizar dos árboles del estado de Oaxaca con tres probetas cada uno.

El encontrar un menor valor de densidad en regeneración, respecto a arbolado adulto, puede tener su explicación en que en la regeneración se tiene madera juvenil principalmente, y ésta es de menor densidad (Daniel *et al.*, 1982). Así por ejemplo, en un estudio con madera de *Pinus patula* en una prueba de progenie de seis años de edad, se encontró que la densidad de la madera aumenta conforme aumenta la edad del arbolado (Valencia, 1994).

También se ha encontrado correlación positiva entre madera juvenil con la

madura, es decir, hay una gran posibilidad de predecir un valor de la densidad de la madera total, cuando los árboles presentan sólo madera juvenil, ejemplos de esto es el estudio que se realizó con tres tipos de madera juvenil, madura y de transición, en *Pinus greggii* del noreste de México, encontrando una fuerte correlación positiva ( $r = 0.76$ ), entre lo que es la densidad de la madera juvenil y la densidad de la madera total, concluyendo que aquellos árboles que tengan una mayor densidad de la madera juvenil, presentarán después una mayor densidad en la madera tanto en la de transición como en la madura (López L., 1997).

El coeficiente de variación encontrado para este trabajo fue de 15.87%, el cual no es un valor muy alto al compararlo con otros estudios de densidad de la madera, por ejemplo, 15.18 % en *Pinus engelmannii* de Chihuahua (Tzab, 2002), 12.6 % en *Pinus arizonica* de Chihuahua (Arroyo, 2001) y 11.47% en *Pinus rudis* de Sierra de Arteaga, Coah. (López A, 1997), pero es mayor al 7.5 % reportado para *Pinus greggii* del norte de México (López L., 1997) y 6.9 % en *Pinus teocote* de Montemorelos, N.L. (Trujillo, 1999). Estos valores pueden ser útiles de acuerdo a la fuente de variación que contribuya principalmente, ya que si es una fuente de variación que se pueda emplear para programas de mejoramiento genético, se podrían tener resultados en los productos que se obtengan del arbolado y beneficiar a los intereses del productor (Zobel y Talbert 1988).

## 4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza

Se encontraron diferencias altamente significativas ( $\alpha=0.01$ ) entre árboles y entre rodajas dentro del fuste de árboles (Cuadro 5), mientras que entre poblaciones no se encontraron diferencias estadísticas. Se puede observar la contribución a la varianza total de parte de las tres fuentes de estudio. El valor más alto fue para rodajas con 37.9%, siguiéndole la variación entre árboles con 27.8% y por último la diferencia entre poblaciones que fue de 3.5%, obteniendo una contribución a la variación total de 69.2%. El resto de la variación total fue debido al error con un 30.7%.

Este patrón de encontrar mayor diferencia dentro del árbol, que entre árboles y menor diferencia entre poblaciones, se ha presentado en otros trabajos. Por ejemplo, para *Pseudotsuga* del norte de México el mayor efecto fue la variación entre árboles (38.11%) seguido de la variación entre poblaciones (11.24%) (Zúñiga, 1998); en *Pinus greggii* del Norte de México fue de 13 % entre poblaciones y 24 % entre árboles (López L., 1997); de manera parecida en *Pinus arizonica* de Chihuahua 3 % por diferencias entre poblaciones y 22 % debido a diferencias entre árboles (Arroyo, 2001); en *Pinus rudis* de Arteaga, Coah., 20 % por diferencias entre árboles y 59 % por diferencias entre alturas del fuste (López A., 1997); en regeneración de *Pinus estevezii*, el 60.76 % fue debido a diferencias entre alturas del fuste, 14.72 % debido a diferencias entre árboles y sólo el 8.76 % a diferencias entre poblaciones (López M., 2004).

# *Cuadro 5*

De lo anterior escrito, es importante destacar que algunos de los trabajos utilizaron fuentes de variación distintas a las que se utilizaron en el presente estudio, ya que en algunos trabajos se estudio la variación entre clases de edad y entre rodajas o sólo se estudio variación entre poblaciones y árboles, lo cual puede haber diferencias en el resultado de la variación de cada fuente con respecto a la variación total.

#### 4.2.1 Variación entre poblaciones

En este estudio no se presentaron diferencias estadísticas entre poblaciones, aún cuando la población de La Antena, Zaragoza N. L. presentó un valor promedio de  $0.362 \text{ g cm}^{-3}$  y la población de El Rancho, Galeana, N. L. un valor de  $0.453 \text{ g cm}^{-3}$  (Cuadro 6).

Cuadro 6. Valores de densidad de la madera para *Pinus teocote* Schl. y Cham en poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.

Población	Paraje	Municipio	Estado	Densidad de la madera ( $\text{gr cm}^{-3}$ )
1	Puerto El Conejo	Arteaga	Coahuila	0.407
2	El Manzano	Santiago	Nuevo León	0.429
3	Cañón de Jame	Arteaga	Coahuila	0.416
4	El Tejocote	Santiago	Nuevo León	0.392
5	Potrero Redondo	Santiago	Nuevo León	0.430
6	La trinidad	Montemorelos	Nuevo León	0.437
7	El Encinal	Galeana	Nuevo León	0.433
8	El Rancho	Galeana	Nuevo León	0.453
9	El Desmonte	Arramberri	Nuevo León	0.399
10	Las Mesas	Arramberri	Nuevo León	0.417
11	La Antena	Zaragoza	Nuevo León	0.362
12	El Barro	Zaragoza	Nuevo León	0.394



No se encontrarán trabajos para la misma especie que estudiaran la variación de densidad de la madera entre poblaciones; Trujillo (1999) estudió la variación entre árboles y dentro de árboles y Ordoñez (s/f) reporta un valor promedio empleando dos árboles con tres probetas cada uno.

Sin embargo hay estudios con otras especies en donde si han encontrado diferencias entre poblaciones. Por ejemplo, en regeneración de *Pinus estevezii* del sur de Nuevo León se encontraron diferencias estadísticas entre poblaciones (López, 2004). Otros ejemplos, donde se ha encontrado diferencias entre poblaciones, pero en arbolado adulto es e *P. greggii* en el Norte de México (López L., 1997), *P. arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chih. (Arroyo, 2001).

De acuerdo a lo anterior, se puede notar que la densidad de la madera varía tal como lo mencionan autores como Daniel *et al.* (1982) y Zobel y Talbert (1988) quienes afirman que existe variación de la densidad de la madera entre regiones geográficas de una misma especie. Tales variaciones pueden seguir un gradiente ambiental, por ejemplo *Pinus taeda* del sureste de Estados Unidos, en donde se presenta una disminución conforme avanzan las poblaciones hacia el norte (Zobel y Talbert, 1988); mientras que en *Pinus estevezii* del sur de N. L. la densidad de la madera tiende a aumentar conforme las poblaciones avanzan hacia el norte (López, 2004). En otras ocasiones, la variación no sigue un patrón, ya que puede depender de factores ambientales que no tienen un gradiente, o bien de factores genéticos.

Cuando hay pequeñas diferencias en los ambientes que crecen los árboles, es probable que las diferencias entre las poblaciones sean muy pequeñas y en algunos casos difíciles de detectar, más aun si el tamaño de muestra es pequeño. Lo anterior pudieran ser las causas de que en el presente trabajo. no se encontraron diferencias entre poblaciones para el *Pinus teocote*, en los estados de Coahuila y Nuevo León. Otro caso en donde no se encontró diferencias entre poblaciones, son en los estados de Oaxaca y Veracruz para densidad de la madera de *Pinus strobus* var. *chiapensis* (Yáñez y Caballero, 1991).

#### 4.2.2 Variación entre árboles

La contribución porcentual a la variación total debida a diferencias entre árboles para densidad de la madera, en este trabajo fue de 27.8 %, el cual es un valor muy parecido con respecto a otros trabajos de densidad de la madera. Por ejemplo, para *Pinus arizonica* donde las fuentes de variación fueron árboles, sitios y regiones, la variación entre árboles contribuyó con un 22.3 % (Arroyo, 2001), mientras que en *Pinus greggii* donde se estudió diferencias entre poblaciones y entre árboles, ésta última contribuyó con 24 % (López L., 1997). En otros trabajos las diferencias entre árboles han cocontribuido con mayor porcentaje, por ejemplo, en *Pinus rudis* con 49.8 % (López A., 1997) y en *Pseudotsuga* sp 38.11 % (Zúñiga, 1998).

Hay casos en que la variación entre árboles puede llegar a ser hasta un 50%, lo

que significa que un árbol puede tener el doble de masa que otros árboles que tengan el mismo tamaño (Daniel *et al.*, 1982). La variación existente en este tipo de fuente de variación es muy importante ya que es considerada como una característica fuertemente heredable, por lo que se puede aprovechar para programas de mejoramiento genético obteniendo mejores productos de acuerdo a la conveniencia del productor (Zobel y Talbert, 1998).

#### 4.2.3 Variación dentro del árbol

La mayor fuente de variación fue debida a diferencias dentro de árboles (37.9 %), que de manera más precisa se refiere a diferencias entre altura del fuste. Este resultado es semejante a lo reportado para diferencias entre alturas de fuste (37.26 %), en esta misma especie, pero en arbolado adulto (Trujillo, 1999). En *Pinus rudis* las diferencias entre alturas del fuste, fueron la segunda fuente de contribución a la variación total (20.3 %), teniendo como primera fuente secciones dentro de rodaja (59%) (López A., 1997).

Lo anterior coincide con lo señalado por Daniel *et al.* (1982), Hocker (1984) y Zobel y Talbert (1988), quienes afirman que existe una considerable variación de la densidad de la madera dentro de cada árbol y además ésta tiende a disminuir conforme la altura del arbolado aumenta., tal como resultó el patrón encontrado en el presente estudio con regeneración de *Pinus teocote* (Figura 2).

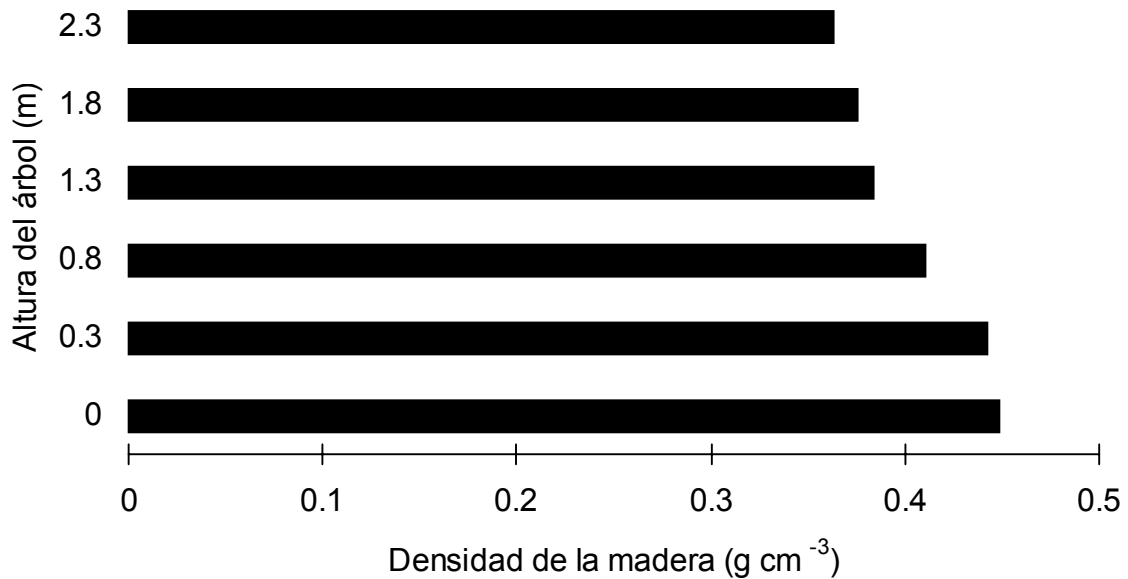


Figura 2. Tendencia de la densidad de la madera de acuerdo a la altura del arbolado en regeneración de *Pinus teocote*, para poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.

En arbolado adulto de *Pinus teocote* de Montemorelos, N. L., también se presenta una tendencia general, de aumento de la base hacia el ápice (Trujillo, 1999), al igual que en arbolado adulto de *P. rudis* de Arteaga, Coah. (López A., 1997). En el caso de regeneración de *P. estevezii* de Coah. y N. L. no se manifiesta un patrón tan marcado de disminución hacia el ápice, sin embargo, pudiera deberse a una muestra no representativa de la parte superior del fuste, ya que en dicha porción se tuvo un menor número de muestras (López, 2004). La disminución de la densidad de la madera de la base hacia el ápice (Figura 2), se explica porque conforme la altura del arbolado aumenta, se tiene mayor proporción de madera juvenil (Hocker, 1984) la cual es de menor densidad (Zobel y Talbert, 1988; López L., 1997).

Se obtuvo un error de 30.7%, el cual es un poco más de la cuarta parte de la variación total, esto se puede atribuir a fuentes de variación que no fueron incluidas en el estudio. Es decir, la variación de la densidad de la madera debe ser explicada por otras fuentes de variación, como pudiera ser, altitud, pendiente, clases de edad, exposición, ambiente, competencia y la proporción de madera temprana y tardía. Se ha demostrado que tanto la longitud de la fibra y la densidad de la madera, está influenciada tanto por la estructura genética como por los factores del medio ambiente (Zobel, 1964).

#### 4.3 Correlación

En este estudio no se encontró alguna correlación de la densidad de la madera con características fisiográficas y climáticas como lo son: latitud, longitud, pedregosidad, precipitación de verano y precipitación de invierno (Apéndice 4), sin embargo, en otros trabajos, si se ha encontrado algún tipo de correlación; por ejemplo, en regeneración de *Pinus estevezii* se encontró que la densidad de la madera presentó una correlación negativa fuerte ( $r=-0.43$ ) con la altitud, lo cual significa que a medida que aumenta la elevación sobre el nivel del mar, la densidad de la madera disminuye y viceversa (Abel L., 2004). Otro ejemplo es en *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara, en Chihuahua, donde la densidad de la madera presenta una correlación negativa con la altitud ( $r=-0.385$ ) y con la pendiente ( $r=-0.372$ ) (Tzab, 2002).

## V CONCLUSIONES

De acuerdo a los datos obtenidos en el presente estudio de la variación de la densidad de la madera para regeneración de *Pinus teocote*, en poblaciones localizadas al Sur de Nuevo León y Sureste de Coahuila, se establecen las siguientes conclusiones:

1. La madera es moderadamente liviana ( $0.41 \text{ g cm}^{-3}$ ).
2. Las diferencias entre altura dentro del árbol son las que más afectan a la variación de la densidad de la madera y en menor medida las diferencias entre árboles.
3. La densidad de la madera no presenta diferencias estadísticas significativas entre poblaciones muy pequeñas.
4. La mayor densidad de la madera dentro del árbol se presenta en la base y disminuye hacia el ápice.
5. El valor de densidad de la madera no se asoció con variables fisiográficas ni climáticas.

## VI RECOMENDACIONES

De acuerdo con el análisis de los resultados, se recomienda:

1. Ampliar este tipo de estudios a toda el área de distribución de la especie y de preferencia en arbolado adulto.
2. Estudiar las traqueidas, ya que estas también tienen un efecto importante para diversos usos de la madera.
3. Realizar estudios de factibilidad para establecimiento de plantaciones, dado la buena densidad de la madera.
4. Realizar pruebas físico-mecánico de la madera de esta especie, asociados con la densidad de la madera.

#### IV LITERATURA CITADA

- Arroyo P., M. 2001. Variación en la densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. de la Sierra Tarahumara, Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 56 p.
- Cetenal. 1976. carta Geológica. G14 C35 Arteaga. Escala 1:50,000. México.
- Cetenal. 1977a. Carta Edafológica. G14 C35 Arteaga. Escala 1:50,000. México.
- Cetenal. 1977b. Carta Geológica. G14 C87 Arramberri Nuevo León. Escala 1:50,000. México.
- Daniel, T.W., J.A. Helms y F.S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Editorial Mc Graw Hill. México, DF. 493 p.
- Detenal. 1977. Carta Edafológica. G14 C87 Arramberri Nuevo León. Escala 1:50,000. México.
- De la Loma, J. L. 1979. Genética general y aplicada. UTEHA. México. 752 p.
- Díaz G., V. 1988. Propiedades tecnológicas de la madera y su aplicación. Memoria de IV Seminario Nacional de la Industria Maderera. Publicaciones especiales del INIFAP. México, D.F. pp. 99-119.
- Echenique M., R. y V. Díaz G., 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. Boletín Técnico No. 27. INIF. México. 71p.
- Eguiluz P.T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 183 p.
- García E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen Ed. Larios. México. 217 p.



- Hernández L., A., M., Martínez R., J.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*. 21(8): 39-53.
- Hocker Jr., H.W. 1984. *Introducción a la biología forestal*. A.G.T Editor. México. 467 p.
- INEGI. 1990a. Carta de efectos climáticos regionales, mayo-octubre. G14-7 Monterrey. Escala 1: 250000. México.
- INEGI. 1990b. Carta de efectos climáticos regionales, noviembre- abril. G14-7 Monterrey. Escala 1: 250000. México.
- Kollman, F. 1959. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones*. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. Editorial Omega. Madrid, España. 675 p.
- López A., F. 1997. Variación en densidad de la madera entre y dentro de árboles en *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 55 p.
- López L., M. 1997. Variación de la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. en el Norte de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 68 p.
- López M., A. 2004. Variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus estevezi* (Mtz.) Perry de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 52 p.
- Martínez, M. 1948. *Los pinos mexicanos*. Segunda edición. Editorial Botas. México, D.F. 361 p.
- Ordóñez, V., G. Bárcenas y A. Quiroz, (s/f). Características físico-mecánicas de la madera de diez especies de San Pablo Macuilianguis, Oaxaca. *Boletín Técnico. La madera y su uso* No.21. LACITEMA. México. 32p.
- Ortega E., F. 1999. Densidad relativa y longitud de traqueidas en cinco familias de *Pinus patula* Schl. et Cham. de diferentes sitios. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 58 p.

- Rodríguez, F., M., Broto, M., Badía, A., García y S., Closa. 2001. estudio de la variación de las propiedades de la madera en el fuste. Institute National de Recherche Agronomique. [www.Juntadeandalucia/medioambiente/ponencias](http://www.Juntadeandalucia/medioambiente/ponencias).
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Smith, D.M. 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. U.S. Forest Service. Forest Products Laboratory. Report 2014. Wisconsin, USA. 8 p.
- Snedecor, G. y W.G. Cochran. 1981. Métodos estadísticos. CECSA. México. 703p.
- Sosa A., M. A. 2001. Crecimiento e incremento de la regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. et Cham. en rodales localizados al sureste de Coahuila y sur de Nuevo Leon. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 64 p.
- Steel, R. G. D. y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística principios y procedimientos. 2da. Edición, Mc Graw Hill. México. 622 p.
- Tamarit U., J.C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 especies latifoliadas. Madera y Bosques 2(2): 29-41.
- Trujillo G., M. 1999. Variación de la densidad de la madera de *Pinus teocote* Schl. y Cham. en el Ejido La Trinidad, Montemorelos, N.L. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 116p.
- Tzab C., J. de los A. 2002. Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y crecimiento en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr. de Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- Valencia M., S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., y su relación con la velocidad de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados, Montecillo, México. 108 p.
- Valencia M., S. y J.J. Vargas H. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica de la madera en muestras pequeñas de madera. Madera y Bosques 3 (1): 81-87.

- Yáñez M., O. y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus strobus* Mtz. var. *chiapensis* de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueida de la madera. Revista Chapingo. XV (75): 18-24.
- Zobel, B. J. 1964. Mejora genética de las propiedades de la madera de especies forestales. Unasyva 18(2-3): 89-104.
- Zobel, B. J. y J.T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p.
- Zobel, B. J. y P. van Buijtenen. 1989. Wood variation its causes and control. Springer-Verlag. Germany. 363 p.
- Zúñiga B., M. C. 1998. Variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y entre localidades del norte de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila. México. 54 p.

## APÉNDICE

Apéndice 1. Programa SAS para prueba de normalidad, análisis de varianza y de componentes de varianza.

```
options ps=60;
data pt1;
infile'a:DMpite1.dat';
input loc arb rod lado $ ps pa;

DM=1/(((Ps-Pa)/Pa)+0.6536);

if DM>0.65 then delete;
if DM<0.21 then delete;
proc print;
proc sort data=pt1;
  by loc;
  by loc arb;
  by loc arb rod;
proc means max min noprint data=pt1;
  by loc;
  by loc arb;
  by loc arb rod;
  var dm;
output out=pt2 max=maxDM min=minDM;
proc print data=pt2;

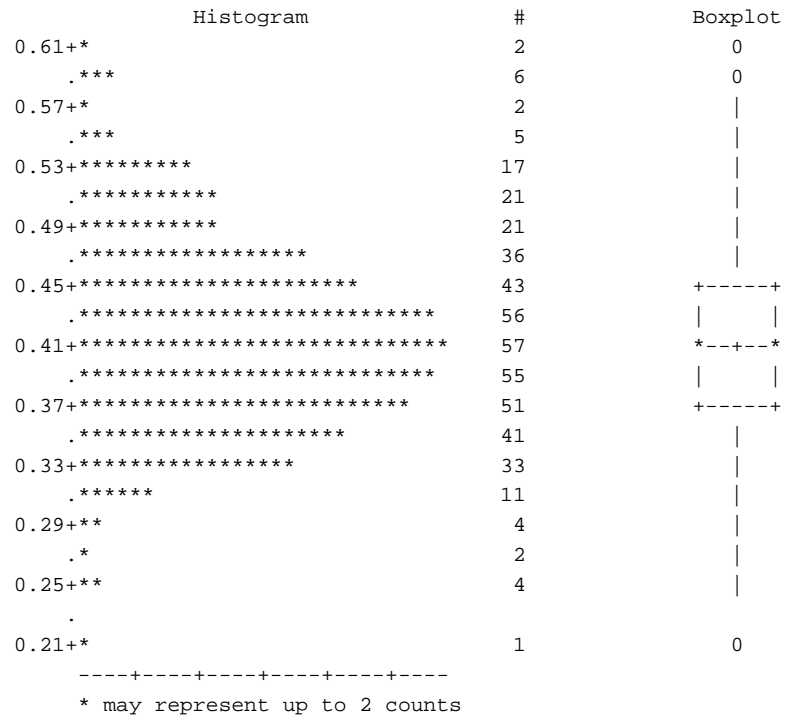
Prueba de normalidad;
proc univariate plot normal data=pt1;
  var dm;

Tendencia central y dispersion;
proc sort data=pt1;
  by loc arb rod;
proc means n mean min max range std cv stderr data=pt1;
  var dm;

Análisis de varianza;
proc glm data=pt1;
  class loc arb rod;
  model dm = loc arb(loc) rod(arb loc);
  test H=loc E=arb(loc);

Componentes de varianza;
proc varcomp data=pt1 method=type1;
  class loc arb rod;
  model dm = loc arb(loc) rod(arb loc);
run;
```

Apéndice 2. Resultados de análisis de la normalidad de datos de la densidad de la madera. Utilizando histograma y el método de cajas.



Cuadro 5. Análisis de varianza y de componentes de varianza para la densidad de la madera en regeneración de *Pinus teocote* Schl. y Cham para las poblaciones del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.

F.V.	G.L.	S.C.	C.M.	F.C.	CVE	CVE %	Esperanza de los componentes medios.
Pob. (p)	11	0.243	0.022	1.53	0.0001	3.5	$\sigma^2_e + 1.1998 \sigma^2_r(p,a) + 9.1998 \sigma^2_a(p) + 38.759 \sigma^2_p$
Arb. (a)	42	0.629	0.015	11.12**	0.0012	27.8	$\sigma^2_e + 1.9658 \sigma^2_r(p,a) + 8.5062 \sigma^2_a(p) + 1.9455 \sigma^2_p(p,a)$
HR. (r)	186	0.854	0.005	3.4**	0.0016	37.9	$\sigma^2_e + 1.9455 \sigma^2_r(p,a)$
Error (e)	228	0.307	0.001		0.0013	30.7	$\sigma^2_e$
Total	467	2.03				100	

Arb. = Árboles; F.V.= Fuente de variación; G.L.= Grados de libertad; H.R.= Altura de rodaja; S.C.= Suma de cuadrados; C.M.= Cuadrados medios; C.V.E. = Componentes de varianza estimados; C.V.E. %= C.V.E. en porcentaje de C.V.E.; F.C.= F calculada; Pob.= poblaciones;  $\sigma^2_e$  = Varianza del error,  $\sigma^2_p$  = Varianza entre poblaciones,  $\sigma^2_{a(p)}$  = Varianza entre árboles dentro de las poblaciones,  $\sigma^2_{r(p,a)}$  = Varianza entre alturas de corte dentro de los árboles dentro de las poblaciones \*\* = Altamente significativo al nivel de  $\alpha=0.01$ .

Cuadro 1. Ubicación geográfica de doce poblaciones de regeneración natural de *Pinus teocote* Schl. et Cham, del sureste de Coahuila y sur de Nuevo León.

Fuente: Sosa (2001).

Población	Paraje	Municipio	Estado	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (m)
1	Puerto El Conejo	Arteaga	Coah.	25° 35' 17"	100° 35' 17"	2480
2	El Manzano	Santiago	N.L.	25° 21' 54"	100° 11' 53"	1620
3	Cañón de Jamé	Arteaga	Coah.	25° 21' 14"	100° 35' 41"	2395
4	El Tejocote	Santiago	N.L.	25° 20' 03"	100° 14' 7"	1906
5	Potrero Redondo	Santiago	N.L.	25° 15' 28"	100° 09' 39"	1382
6	La Trinidad	Montemorelos	N.L.	25° 15' 28"	100° 09' 39"	1620
7	El Encinal	Galeana	N.L.	24° 35' 24"	99° 58' 38"	2150
8	El Rancho	Galeana	N.L.	24° 34' 33"	99° 58' 07"	2250
9	El Desmonte	Arramberri	N.L.	24° 03' 36"	99° 44' 12"	2080
10	Las Mesas	Arramberri	N.L.	24° 02' 56"	99° 44' 01"	2170
11	La Antena	Zaragoza	N.L.	23° 54' 41"	99° 47' 53"	2696
12	El Barro	Zaragoza	N.L.	23° 56' 35"	99° 47' 28"	2100