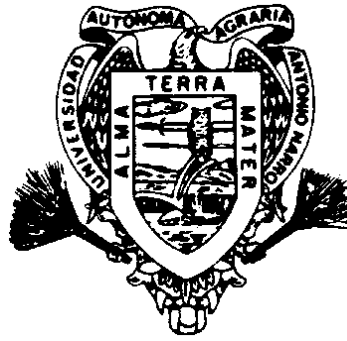


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y
entre localidades del Norte de México**

Por

MARÍA CRISTINA ZÚÑIGA BARRAGÁN

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para

Obtener el Título de:

Ingeniero Agrónomo Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 1998

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISION DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

**Variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y
entre localidades del Norte de México**

Por

MARÍA CRISTINA ZÚÑIGA BARRAGÁN

TESIS

Que se somete a consideración del H. Jurado examinador como un requisito

parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO FORESTAL

APROBADA

M.C. Salvador Valencia Manzo
Presidente del Jurado

M.C. Luis Morales Quiñones
Sinodal

Ing. José Antonio Ramírez Díaz
Sinodal

M.C. Mariano Flores Dávila
Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Noviembre 1998

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

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	3
3 REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
3.1 El género <i>Pseudotsuga</i>	4
3.1.1 Importancia económica y ecológica.....	5
3.1.2 Ecología y distribución en México.....	7
3.2 Variación natural.....	8
3.2.1 Patrones de la variación.....	9
3.2.2 Niveles de variación.....	10
3.3 Densidad de la madera.....	12
3.3.1 Componentes de la densidad de la madera.....	13
3.3.2 Estimación de la densidad de la madera.....	14
3.4 Niveles y patrones de variación de la densidad de la madera..	15
3.5 Causas de la variación en la densidad de la madera.....	18
3.6 Principios del muestreo para la evaluación de la madera.....	18
4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	20

4.1 Trabajo de campo.....	20
4.2 Trabajo de laboratorio.....	23
4.3 Análisis estadístico.....	25
5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
5.1 Densidad de la madera en el eje transversal del árbol.....	29
5.2 Medidas de tendencia central y de dispersión.....	33
5.3 Análisis de varianza y análisis de componentes de varianza.	36
5.4 Correlaciones.....	40
6 CONCLUSIONES.....	46
7 LITERATURA CITADA.....	48
APÉNDICE.....	54

ÍNDICE DE CUADROS

1. Datos de localización, orografía, geología, edafología y climáticos de nueve localidades de <i>Pseudotsuga</i> del Norte de México.....	21
2. Componentes de los cuadrados medios esperados en el análisis de varianza de la densidad de la madera de <i>Pseudotsuga</i>	27
3. Valores promedio y medidas de dispersión en <i>Pseudotsuga</i> para las variables de densidad de la madera, distancia de la médula a la periferia y número de anillos.....	33
4. Análisis de varianza y componentes de varianza de las densidades de madera a diferentes distancias de la médula a la periferia en el eje transversal de <i>Pseudotsuga</i>	37
5. Correlación entre las densidades tomadas a diferentes distancias del eje transversal de <i>Pseudotsuga</i>	40
6. Correlación entre las diferentes densidades, número de anillos y distancia con variables dasométricas del arbolado de <i>Pseudotsuga</i>	42
7. Correlación entre las variables dasométricas y de localización de <i>Pseudotsuga</i>	44

ÍNDICE DE FIGURAS

1. Tendencia en la sección transversal para la densidad de la madera promedio de nueve localidades de *Pseudotsuga* del Norte de México..... 29
2. Tendencia en la sección transversal para la densidad de la madera de *Pseudotsuga* en nueve localidades del Norte de México..... 31

RESUMEN

La densidad de la madera es una característica de importancia económica, por los diversos efectos que tiene sobre el uso final de la madera. En México, el género *Pseudotsuga* se encuentra restringido en lo referente a su aprovechamiento, sin embargo su madera tiene alto potencial para diversos usos. Con el objeto de estimar el nivel y la magnitud de la variación de la densidad de la madera entre árboles y entre localidades del Norte de México, se propuso el presente trabajo.

Las localidades colectadas fueron nueve, dos del Estado de Nuevo León, seis de Coahuila y una de Durango; en cada localidad se realizó el muestreo al azar de 8 a 12 árboles, en cada uno de ellos se extrajeron dos virutas en forma perpendicular a la dirección de la pendiente del terreno, a una altura de 1.3 m y se registraron sus datos dasométricos, así como para cada localidad algunas variables del sitio. Cada una de las muestras se seccionó cada 5cm a partir de la médula obteniendo tres secciones por viruta, después de haber sido marcadas se estimó en cada una la densidad de la madera con el método de máximo contenido de humedad. Los datos se analizaron elaborando gráficas del comportamiento de la densidad de la madera en el eje transversal; obteniendo medidas de tendencia central y de dispersión; realizando análisis de varianza y análisis de componentes de varianza a nivel localidad y árbol dentro de localidad; además de realizar correlaciones de Pearson entre las diferentes variables de estudio.

La densidad de la madera promedio de las nueve localidades presentó una tendencia de disminuir del centro a la periferia. Las tendencias por localidad siguieron tres patrones uno de manera similar al general, el segundo patrón con valores bajos en la médula, aumentando en la parte intermedia y disminuyendo en la corteza, el tercer patrón siguió una tendencia de incrementar de la médula a la corteza. La densidad de la madera de *Pseudotsuga* obtuvo una media general de 0.485 g/cm^3 ; por secciones fue de 0.490 g/cm^3 para la sección cercana a la médula, de 0.484 g/cm^3 para la parte intermedia y 0.475 g/cm^3 para la sección cercana a la corteza. De la variación total el 11.24% se debió al efecto de localidad, el 38.11% árboles dentro de localidad y el 50.65% al error. La correlación entre las secciones con la densidad de la madera total fue fuerte

($0.67 \geq r \leq 0.85$). La densidad de la madera se correlacionó de manera positiva con la altura total del arbolado ($r=0.26$).

1 INTRODUCCIÓN

La biodiversidad que México sustenta lo hace ser uno de los países que ocupan los primeros lugares en este aspecto. La biodiversidad depende del grado de dominancia de las especies; cuando una comunidad presenta un alto grado de dominancia para una sola especie, la biodiversidad será muy poca y las especies que tengan un menor grado tenderán a ser raras teniendo el riesgo de desaparecer (Halffter, 1996). Simplificar los ecosistemas en plantaciones extensas trae consigo dos resultados; de un lado se generan ganancias en la producción de biomasa y por supuesto mayor entrada de recursos económicos, pero por otra parte, se reduce de manera considerable la variación en la población. Este resultado, hace a la población susceptible al ataque de plagas y enfermedades no pudiendo poner barreras biológicas para su defensa. Los bosques naturales, por lo general producen madera en menor cantidad, pero en cambio conservan la variación que les da la posibilidad de perpetuarse.

El género *Pseudotsuga* en el Oeste de los Estados Unidos tiene gran importancia por las grandes áreas que ocupan sus plantaciones, siendo una de las especies con mayores aprovechamientos forestales (Albert, 1965; Kleinschmit y Bastien, 1992). México no tiene plantaciones a nivel comercial de este género debido a varios factores entre ellos la orografía que no lo facilita; sin embargo cuenta con pequeñas áreas de bosques naturales de *Pseudotsuga* las cuales

parecen disminuir debido a los aprovechamientos forestales irracionales que se han realizado además de los incendios que suceden con cierta frecuencia en dichas áreas. Los bosques de este género en la actualidad no están en aprovechamiento debido a que fue declarada como especie rara y endémica en el territorio nacional (SEDESOL,1994).

Para conservar un género en las condiciones como en las que se encuentra *Pseudotsuga*, vegetando sólo en áreas muy peculiares, se requiere elaborar un plan de manejo del bosque que mantenga sus niveles de variación y para esto es necesario conocer su comportamiento en general. Un plan de manejo integrado contempla el mejoramiento del bosque según su situación lo requiera, en este caso se debe mantener y tratar de aumentar las áreas donde se encuentra cuidando no disminuya su variación genética. El conocer la variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* en su distribución natural resulta de gran ayuda para quien hace mejoramiento genético; así como para quien elabora planes de manejo.

Al estudiar las características internas de la especie se induce más sobre su comportamiento y se conoce mejor. La densidad de la madera es una característica fácil de estimar y es fuertemente heredable (Valencia, 1994) además presenta variación en distintos niveles, lo cual es muy útil en el mejoramiento genético. La justificación de este trabajo es conocer los patrones de variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* de algunas localidades del Norte de México que puede servir como base para elaborar un programa de manejo

integrado que mantenga el grado de variación existente, al mismo tiempo que contemple la posibilidad de utilizar este género de manera racional.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

El objetivo general del presente trabajo es el siguiente:

Estimar el nivel y la magnitud de la variación de la densidad de la madera entre localidades de *Pseudotsuga* del Norte de México.

Los objetivos específicos son:

- a) Estimar el nivel y magnitud de variación de la densidad de la madera entre nueve localidades de *Pseudotsuga*.
- b) Estimar el nivel y magnitud de la variación de la densidad de la madera entre árboles dentro de la localidad.
- c) Estimar los componentes de varianza para la densidad de la madera a nivel localidad y árbol dentro de localidad.

Las hipótesis nulas propuestas son las siguientes:

- a) H_0 : No hay diferencias en la densidad de la madera entre localidades
- b) H_0 : No hay diferencias en la densidad de la madera entre árboles dentro de localidad

3 REVISIÓN DE LITERATURA

3.1 El género *Pseudotsuga*

El género *Pseudotsuga* lo estableció Carriere en su tratado según lo cita Martínez (1949). Tiene una amplia distribución en el continente americano abarcando desde los 19° de latitud Norte en México, hasta los 55° en Canada y de longitud Oeste de los 97° a 128° (Kleinschmit y Bastien, 1992).

Dada la amplia distribución en que se encuentra, las áreas tienen variaciones entre sí afectando de modo distinto a las plantas y modificando así su fisiología para poder adaptarse a su medio ambiente, lo cual se refleja en diferencias entre sí, tanto anatómicas y morfológicas, como fisiológicas (Halffter, 1996).

Este género representa cierta controversia en cuanto a la taxonomía de sus especies (Rzedowski, 1978), ya que mientras que algunos autores como Flous señalan para México cuatro especies de *Pseudotsuga* (Martínez, 1949), otros taxónomos, principalmente norteamericanos, señalan que para América existen dos especies de las cuales sólo *P. menziesii* se distribuye en México (Rzedowski, 1978). Sin embargo estudios isoenzimáticos recientes, como el de Li y Adams, demuestran que para México podría existir más de una especie, y hasta llegar a considerarse como el centro de origen del citado género (Domínguez,

1994). Lo anterior provoca que en un mismo taxa sea nombrado con diferente nombre, por ejemplo, para *Pseudotsuga* de la región Arteaga, Coah., Martínez (1949), Cornejo (1987) y Franco (1990) lo reconocen como *P. flahaulti*, mientras que los taxónomos norteamericanos lo señalarían como *P. mensiezii* (Rzedowski, 1978).

En una descripción general para el género *Pseudotsuga*, basada en Martínez (1949) y Preston (1976), se dice que se le encuentra con una apariencia de copa piramidal compacta; alcanzando alturas que van de los 12 m a los 40 m, con diámetros entre 35 cm y 70 cm; sus hojas son lineares, algo aplanadas, obtuso puntiagudas; las yemas ovoide agudas; las inflorescencias femeninas, son conillos solitarios, oblongo ovoides, axilares o terminales, madurando el mismo año, escamas delgadas con dos óvulos en la base, rígidas, redondas, cortas, exertas, brácteas trilobuladas; las inflorescencias masculinas están agrupadas en conitos axilares, cilíndricos oblongos formados por numerosas bolsitas de sacos aeríferos; semilla triangular ovoide con las terminales redondeadas y largas; corteza de color café, grisácea con ondulaciones café separadas por surcos blanco amarillentos.

3.1.1 Importancia económica y ecológica

A *Pseudotsuga* comparada con un grupo de especies en el Norte de América se le considera como de rápido crecimiento, de acuerdo a su resistencia de la madera es de gran utilidad en la construcción (Daniel *et al.*, 1982; Bach, 1970). Las áreas de aprovechamiento forestal que cubre son muy extensas,

vienen desde el Oeste de Canadá en la Columbia Británica, siguiendo los Estados Unidos por los estados de Washington, Oregon, Idaho, Montana, Wyoming, California, Utah, Colorado, Arizona y Nuevo México, alcanzando su máximo desarrollo en la costa del Pacífico (Hill, 1965; Hocker, 1984).

David Douglas lo introdujo a Europa a principios del siglo pasado donde ha mostrado estar completamente adaptado ocupando el primer lugar en las especies introducidas, hasta han llegado a establecer huertos semilleros (Kleinschmit y Bastien, 1992; Morandini, 1964). Las áreas que en México se encuentran cubiertas por el género *Pseudotsuga* son al parecer relativamente pequeñas, éstas tenían un valor económico aprovechable, siendo que en Coahuila para la realización del inventario se le tomaba en cuenta como género para establecer los incrementos y existencias volumétricas (SARH,1985). Por su parte, Domínguez (1994) menciona que a nivel nacional no se conoce la producción maderable de *Pseudotsuga*, sin embargo dice que el estado de Chihuahua es el que produce los mayores volúmenes de madera llegando a producir hasta 36,779 m³. La regeneración de *Pseudotsuga* de acuerdo en algunos estudios realizados, muestran que es buena, la cual puede ser de hasta 10,000 renuevos por hectárea, en algunas áreas, esto demuestra que la capacidad de regeneración es grande (Franco, 1990).

México tiene un alto grado de biodiversidad debido entre otras circunstancias a la orografía que presenta lo que debe tomarse en cuenta para ser utilizada como fuente de material genético (Halffter, 1996). Aunque la distribución

de *Pseudotsuga* es grande; su estabilidad está sujeta a diversos factores como lo son las reducciones de superficies por los incendios forestales principalmente, el establecimiento de fraccionamientos, los desmontes y las talas ilegales, entre otros (Domínguez, 1994). Esto ha llevado a que poco a poco el género *Pseudotsuga* reduzca sus poblaciones quedando como un género con especies raras y endémicas de acuerdo a la Norma Oficial Mexicana NOM-059-ECOL-1994 (SEDESOL, 1994), aunque aún no ha sido declarada en peligro de extinción, es momento de fomentar sus poblaciones por medio de estudios que de alguna manera se relacionen con ensayos de procedencia, progenie, mejoramiento genético, la producción de semilla por medio de huertos semilleros, etc.

3.1.2 Ecología y distribución en México

En el territorio mexicano se le encuentra en las zonas semihúmedas, en las partes más elevadas de las montañas que van de los 1500 a 3600 msnm en cañadas, o exposiciones preferentemente Norte y en algunos pocos casos con exposición Sur, con precipitaciones medias anuales desde 400 mm hasta 2200 mm; los suelos son poco desarrollados, delgados, pedregosos, con un pH de ácido a alcalino y con un contenido de materia orgánica que va de bajo a abundante; se asocia con los géneros *Pinus*, *Abies*, *Picea* y *Quercus* (Rzedowski, 1978).

Su distribución en el continente americano es grande, en México la fisiografía particular del terreno presenta condiciones de microclima que permiten su establecimiento y desarrollo (Domínguez, 1994). Los estados donde se

distribuye sobre la Sierra Madre Occidental son Sonora, Chihuahua, Durango y Zacatecas; y en la Sierra Madre Oriental en los estados de Coahuila, Nuevo León, Veracruz, Hidalgo y Puebla (Martínez, 1949; Rzedowski, 1978).

3.2 Variación natural

La variación es la tendencia que tienen los individuos de la misma especie para diferenciarse unos de otros, si sólo fuera el fenómeno hereditario que influyera, sus características serían fijas e inmutables, pero como la variación es causada por las recombinaciones de factores hereditarios, la influencia del medio ambiente y las mutaciones, los organismos presentan diferencias anatómicas, morfológicas y fisiológicas que los hacen distinguirse unos de otros (De la Loma, 1979).

Son diversas las variables anatómicas de las cuales se tiene información sobre estudios de variación natural, por ejemplo, número de hileras de estomas, número de ideoblastos, número de canales resiníferos y número de células endodermales, en géneros como *Pinus* (Santiago, 1995) y *Pseudotsuga* (Santos, 1998). Mientras que de las variables morfológicas más estudiadas son largo y ancho del cono, número de escamas bien desarrolladas, largo de la bráctea, largo de la punta central de la bráctea largo y ancho de las hojas en especies como *Pinus cooperi*, *P. engelmanni* y *P. duranguensis* (Morales, 1995; Santiago, 1995; Santos, 1998). Así también para variables fisiológicas como la tasa de crecimiento de la lámina foliar, tasa transpiratoria en *Eucaliptus camaldulensis* y *Gliricidia sepium* (Jacob, 1998).

Gracias a la variación natural de las especies y por medio de la práctica de selección de genotipos o fenotipos de características deseables para una nueva generación es posible obtener mejoramiento genético en una especie; cuando se pone en práctica el mejoramiento es necesario conocer cuáles características son variables, la magnitud de su variación y los patrones de variación que presenta (Nienstaedt, 1990).

Entre individuos de la misma especie se presenta gran variación que se manifiesta porque tienden a ser diferentes en su fenotipo y donde se puede encontrar razas y ecotipos nuevos cuando las especies se encuentran distribuidas en áreas geográficas muy amplias; la variación también se da cuando la especie se encuentra en una distribución discontinua por lo que tienen muy poco intercambio genético (Callahan, 1964; Daniel *et al.*, 1982). Además si las poblaciones entre sí son muy distintas, ello indica que cada una tiene información de combinaciones de genes muy particular o única, por lo que si no se les cuida, poco a poco se le conduciría a la “disgenia”, esto es, lo contrario que sucedería con las poblaciones que tienen muy poca variación entre ellas (Nienstaedt, 1990; Zobel y Talbert, 1988).

3.2.1 Patrones de la variación

La variación dentro de las especies se presenta de dos maneras, puede ser clinal y ecotípica (Hocker, 1984). Es clinal cuando los rasgos de morfología, fisiología y anatomía presentan cambios continuos sin fluctuaciones bruscas en el patrón de variación (De la Loma,1979). Los factores que pueden causar el fenómeno de clinalidad en la variación son principalmente los cambios graduales en la temperatura y precipitación o los factores que afectan a éstos, como la latitud, la altitud u otro, así como por la misma interacción de ellos (Hocker, 1984). Un ejemplo de este tipo de variación se presenta en la densidad de la madera de *Pinus taeda*, la cual tiene un patrón clinal asociado con la latitud (Jett *et al.*, 1991).

La forma de variación de los rasgos conocida como ecotípica, se presenta cuando la distribución de una determinada especie se encuentra interrumpida y entonces del patrón original de un rasgo particular se da un cambio, llegando a adaptarse en cada sitio en caso de presentarse presiones del medio ambiente, generalmente estos cambios no son continuos (Hocker, 1984; Callaham, 1964; Nienstaedt, 1990). Yáñez y Caballero (1991) encontraron en *Pinus strobus* var. *chiapensis* una variación de la longitud de las traqueidas dentro de localidad que no siguió la continuidad de la altitud, no con ninguna otra variable climática de las que ellos estudiaron.

3.2.2 Niveles de variación

En las especies de árboles forestales los niveles en los cuales se ha encontrado variación para diversas características cuantitativas y cualitativas son, entre procedencias, entre sitios, entre árboles y dentro del árbol (Zobel y Talbert,

1988); de los cuales a nivel procedencias y árboles suelen brindar mayores resultados cuando se les utiliza en mejoramientos genéticos.

Algunos ejemplos de estudios de variación natural donde se han empleado

10

niveles son el de Hernández (1986) y Hernández (1989), quienes encontraron diferencias en los niveles dentro del árbol, entre árboles y entre procedencias para las variables longitud y ancho de cono, ancho de escama, longitud de apófisis, longitud y grosor del pedúnculo en *Pinus cooperi*, *P. durangensis*, *P. engelmannii* y *P. chiapensis*.

La variación entre procedencias se refiere a las diferencias que existen entre los valores promedio entre una y otra localidad, estas diferencias no son tan fácil de definir dado que es el ambiente quien las causa y por lo general sigue un cambio continuo y a veces es drástico no siendo posible establecer los límites muy fácilmente pero una vez que se tienen, aplicarlos en el control genético resulta de gran importancia en el mejoramiento (Zobel y Talbert, 1988). Las características morfológicas son algunas de las cuales pueden presentar este tipo de variación como lo es en el número y largo de acículas por fascículo en *Pinus cembroides* (Muñoz, 1995), así también variables morfológicas como el ancho y grueso de la semilla, la longitud y el ancho del ala en *Pinus chiapensis* (Hernández, 1986).

En la variación entre sitios suelen estar más bien afectados por factores de los diferentes ambientes en que se encuentre distribuida la especie que por los genéticos (Zobel y Talbert, 1988). En *Pinus strobus* se ha estudiado para la longitud de las traqueidas este nivel de variación (Yáñez y Caballero, 1991).

11

La variación entre árboles se presenta como diferencias de un árbol a otro de la misma especie y dentro de un mismo rodal, por lo regular son características de interés selectivo que pueden tener control genético, y que para quien lo practica se puede basar en estas variaciones (Zobel y Talbert, 1988). En este nivel han sido estudiadas variables como la densidad de la madera de *Pinus greggii* (López, L. 1997), y la morfología de conos y semillas de *Pinus chiapensis* (Hernández, 1986).

La variación dentro del árbol suele ocurrir para características que dentro del árbol pueden diferir, por ejemplo, según la altura en que se tomen las evaluaciones en relación a su fuste o también dependiendo de la insolación que reciba (Zobel y Talbert, 1988). En *Pinus cembroides* la longitud de las traqueidas presentó un patrón de variación continua en la sección transversal, aumentando del centro a la periferia (Vaca, 1992).

3.3 Densidad de la madera

La densidad de la madera es una característica física que indica el peso que tiene un determinado volumen y que se expresa en unidades, puede ser factible el uso del peso específico basado en la relación del peso de un volumen de madera con el peso de un volumen igual de agua sólo que carece de unidades (Kollman, 1959). La densidad de la madera está relacionada con la variación del grosor de la pared celular, por el tamaño de la célula y por la cantidad de madera tardía; estas características son las que componen a la densidad de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

Para estimar la calidad de la madera, con frecuencia se emplea la densidad; la cual se considera, que es una de las características más apropiadas; dado que de ella depende la resistencia de la madera, los rendimientos en la pulpa y la capacidad calorífica además de ser fácil de medir (Ladrach, 1987; Daniel *et al.*, 1982; Kollman, 1959). Otro punto de importancia, es que tanto la densidad de la madera como sus componentes poseen un alto grado de heredabilidad (Vargas y Adams, 1991) y esto es de gran utilidad en un programa de mejoramiento.

12

3.3.1 Componentes de la densidad de la madera

Entre las características que tienen gran relación con la densidad de la madera está la cantidad de madera de verano, que se ve influenciada por el tiempo en que comienza y se termina el crecimiento en el cambium; otra característica es el tamaño de las células o traqueidas, cuando las células que se producen son muy largas la densidad de la madera tiende a disminuir, en cambio si produce células más pequeñas aumentará; la otra característica es el grosor de

la pared celular, que al ser mayor en células de tamaños iguales, la densidad de la madera también será mayor (Zobel y Talbert, 1988; Zobel, 1964).

En un estudio sobre los componentes de la madera de *Pseudotsuga*, como lo fueron la densidad de la madera temprana y tardía y la proporción de madera tardía resultaron estar correlacionados fuertemente de manera positiva por lo que si aumenta una de las características las demás también lo harán (Vargas y Adams, 1991).

13

3.3.2 Estimación de la densidad de la madera

Para la estimación de la densidad de la madera hay diversos procedimientos, desde los más prácticos como el uso del pilodyn (Godfrey y Garthwaite, 1984), hasta los más precisos como el uso de rayos X (Jozsa y Brix, 1989), además de otros diversos, como el método de desplazamiento de agua (Kollman, 1959), el método de desplazamiento en mercurio (Yáñez y Caballero, 1991), el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954), el método empírico (Valencia y Vargas, 1997), entre otros.

Algunos de estos métodos, con sus respectivas ventajas y desventajas, se han empleado en diversos trabajos con especies forestales. Por ejemplo, el “pilodyn” es un instrumento con el cual es posible estimar la densidad de la madera en el monte, funciona por medio de un resorte mecánico el cual impulsa

un elemento punzante que hace se introduzca en la madera donde previamente se eliminó la corteza; la penetración está relacionada inversamente con la densidad medida convencionalmente y las medidas de penetración del pilodyn en la madera del tronco del árbol, por lo que a menor penetración mayor densidad tendrá la madera; se ha empleado en *Pinus pinaster* para estimar la densidad de la madera en el campo (Notivol *et al.*, 1992), y en *Eucalyptus nitens* (Greaves *et al.*, 1996).

En el método del máximo contenido de humedad, se requiere obtener el peso saturado y el peso anhidro de las muestras de madera, y con ambos valores es posible estimar la densidad de la madera, mediante una sencilla fórmula (Smith, 1954). Se ha utilizado en diversos trabajos, como en *Pinus patula* (Valencia, 1994), y en *Pinus greggii* (López L., 1997).

14

El método empírico consiste en considerar como cilindros perfectos a las virutas extraídas con taladro de Pressler, calculando su volumen en verde con el diámetro interior del taladro y la longitud de la viruta, con su contenido de humedad que presenta al momento de extraer la viruta en campo, se toma luego el peso anhidro de la muestra expuesta 24 horas al calor en una estufa de secado de 105 a 110° C, procediendo, posteriormente a estimar la densidad básica (Valencia y Vargas, 1997). En una comparación de este método con el de máximo contenido de humedad, los valores de correlación resultaron estar cercanos a la unidad; por lo que no hay diferencia en utilizar cualquiera de los dos métodos (Valencia *et al.*, 1993; López L. 1997).

El método de desplazamiento de mercurio, consiste en saturar totalmente las virutas en agua destilada estimando posteriormente su volumen en un “volunómetro” de mercurio Amsler. Posteriormente las muestras se colocan en una estufa de secado a 100°C, con oscilación de 5°C hasta obtener el peso constante, se hace una relación con el volumen y se obtiene la densidad (Kollman, 1959).

3.4 Niveles y patrones de variación de la densidad de la madera

La variación de la densidad de la madera puede presentar diversos niveles y patrones. Diversos estudios han encontrado variación en estos niveles, por ejemplo, en *Pinus strobus* var. *chiapensis* (Yáñez y Caballero, 1991), *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Vargas y Adams, 1991), se reporta variación dentro del del árbol; en *Pinus greggii* variación entre árboles (López L., 1997); en *Pseudotsuga menziesii* var. *glauca* variación entre sitios y entre procedencias (Loo et al., 1991).

15

Respecto a los principales patrones de variación de la densidad de la madera, se conocen algunos patrones dentro del árbol, esto es, la variación que tiene la madera de la parte interna a la externa y de la parte superior a la inferior (Metler y Gregg, 1972; Zobel y Talbert, 1988). Por ejemplo, en *Pinus rudis* se ha encontrado que la densidad de la madera aumenta de la médula a la corteza (López, A.1997).

En el interior del árbol se puede encontrar madera juvenil en todo el centro del árbol, la madera madura cubre a la juvenil hasta una altura aproximada en

donde comienza la copa. Hay un cambio gradual de madera juvenil a madura, conocido como transición de la madera. Las densidades de estas dos maderas son distintas, siendo mayor la de la madera madura. Son diversos los trabajos realizados donde se han encontrado diferencias internas del árbol, por mencionar alguno, en *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*, la densidad de la madera aumentó de la médula a la corteza (Vargas y Adams, 1991).

La densidad de la madera puede seguir patrones de variación en parámetros latitudinales y altitudinales como lo fue para la densidad de la madera de *Pinus taeda* en su área de distribución natural, donde los valores de la densidad de la madera disminuyen de Sur a Norte y de la costa hacia el interior del continente (Jett *et al.*, 1991).

16

La variación entre árboles se refiere a la que muestran árboles de la misma edad que se encuentran en un mismo sitio, aún cuando las condiciones del rodal parezcan ser iguales para todos los árboles. Wright y Osorio (1992), realizaron un estudio en *Pinus maximinoi* a una edad uniforme de 14.5 años y encontraron diferencias en la densidad de madera entre árboles; López A. (1997), también encontró variación de la densidad de la madera entre árboles de *Pinus rudis*, del mismo sitio y de edades muy parecidas.

Las variaciones entre sitios sólo suelen mostrar diferencias pequeñas de la densidad de la madera media pero aún así son significativas. Esta variación de la densidad de la madera puede verse influenciada por la altitud y la latitud en que se

encuentren los árboles, dado que en algunos casos la densidad de la madera suele disminuir al alejarse de altitudes y latitudes bajas, siendo la latitud la que produce mayor variación; estas diferencias no son heredables, más bien se le atribuyen al ambiente (Zobel y Talbert, 1988). *Pinus strobus* var. *chiapensis* dejó ver diferencias en la densidad de la madera a este nivel (Yáñez y Caballero, 1991).

La variación entre procedencias suele ocurrir en la densidad de la madera como lo fue en el estudio realizado por López L. (1997), donde encontró diferencias de la densidad de la madera entre procedencias.

3.5 Causas de la variación en la densidad de la madera

17

Los factores que causan la variación en la densidad de la madera son, principalmente, la forma del árbol, las combinaciones genéticas, las variaciones durante el crecimiento, la presencia de diferentes ambientes, la historia evolutiva, la altitud y latitud (Zobel y Talbert, 1988). Por ejemplo en *Pinus taeda* la densidad de la madera aumento al registrarse mayores precipitaciones (Van Buijtenen, 1963); si la densidad de la madera esta relacionada con la temperatura, entonces la densidad de la madera dependerá del ambiente donde se desarrolle como en *Pinus radiata* (Harris, 1963); al aumentar la altitud la densidad de la madera de *Pinus patula* disminuyó (Ladrach, 1984); Larios (1979), encontró en *Pinus hartwegii* que conforme aumentaba la edad, el grosor de las paredes, aumentaba de la misma manera que la densidad de la madera.

3.6 Principios del muestreo para la evaluación de la madera

Al analizar la variación de la madera en los árboles debe tomarse en cuenta la importancia que tiene el muestreo independientemente si el fin que se persigue es de carácter de investigación o con otros fines como en el caso de plantaciones ya sea tipo comercial o de conservación (Zobel y Talbert, 1988).

Los errores del muestreo deben disminuir para que las evaluaciones sean lo más precisas y brinden una confiabilidad al utilizar sus resultados. Debe tomarse en cuenta que la calidad de la madera incluye lo relativo a su densidad, la cual está generalmente asociada de manera negativa con la altura, el diámetro, el área basal y la tasa de crecimiento del árbol (Daniel *et al.*, 1982) por lo que para basarse en estas características al hacer el muestreo podría ser desfavorable para la densidad de la madera. El utilizar sólo la madera madura da más confiabilidad a los resultados por ser esta la madera mas estable en comparación de la juvenil y de transición; la altura del árbol que se utiliza en las coníferas por ser la más representativa es a la altura del pecho (1.3 m sobre el nivel del suelo) (Zobel y Talbert, 1988).

18

El muestreo debe de ser con selección al azar para que los valores medios y el error de confianza comprendan lo mejor posible a la población, en el muestreo puede incluirse a toda la población, o sólo incluir árboles dominantes siempre y cuando sea al azar, el número de árboles mínimo puede ser de treinta teniendo en cuenta que son los suficientes para cuando aún no se conoce la magnitud de la variabilidad. El nivel de confianza dependerá de las necesidades de ganancia en

precisión que se pretendan, por lo general se utiliza el nivel estándar a un 95% (Zobel y Talbert, 1988).

4 MATERIALES Y MÉTODOS

4.1 Trabajo de campo

De la distribución natural de *Pseudotsuga* en México se colectó material en nueve localidades (Cuadro 1), entendiendo como localidad el área donde se encuentra vegetando aún en forma de manchones densos. En este trabajo se hará referencia a *Pseudotsuga* como género, debido a la contradicción que se tiene para denominar sus especies en México.

Las localidades consideradas en el presente estudio se localizan entre las coordenadas 24°52'57" y 25°37'00" de latitud Norte y entre 100°11'57" y 106°25'00" de longitud Oeste; entre 2190 y 3490 metros sobre nivel del mar, con

exposición predominante Norte; rocas calizas y lutitas de origen sedimentario para las localidades de la Sierra Madre Oriental y para la localidad de la Sierra Occidental, rocas volcanosedimentarias; los suelos son de origen volcánico (Cuadro 1).

En lo referente a las condiciones climatológicas, las nueve localidades presentan temperatura media anual entre 10 y 16°C, con precipitaciones promedio anual entre 500 y 930 mm, el tipo de clima varía entre secos (Bs_1) y templados húmedos (Cw_1) (Cuadro 1) (Ver archivo: Cuadros.Doc).

Cuadro 1

En cada localidad se hizo un muestreo de 8 a 12 árboles al azar con una distancia mínima de 50 m entre cada árbol, cuidando de que el arbolado seleccionado para coleccionar el material estuviera sano, no presentara daños mecánicos, con fuste lo más recto posible, sin bifurcaciones y categorías diamétricas mayores de 25 cm y menores de 60 cm. Estos cuidados con el fin de que los resultados estimados de la densidad de la madera provinieran de arbolado con características dasométricas promedio.

Los datos que se registraron en el campo fueron número de árbol por localidad; diámetro normal (DN), medido a la altura del pecho; con una cinta diamétrica; grosor de corteza (GC), mediante el uso de un medidor de corteza;

altura total (AT) y la dirección o sentido de la pendiente ambas medidas con pistola Haga; exposición utilizando brújula Sunnto y la altitud con el altímetro.

Para la colecta del material se empleó un taladro de Pressler con diámetro de 0.5 cm para la extracción de dos muestras (virutas de madera) por árbol a la altura del pecho (1.3 m), penetrando hasta la médula del árbol. La posición en la que se extrajeron las virutas fue de manera perpendicular a la dirección de la pendiente del terreno, las muestras se denominaron como “A” la del lado derecho del árbol y “B” a la del lado izquierdo, mirando hacia la parte baja de la pendiente.

A cada una de las muestras se les colocó en cilindro de plástico (popotes), los cuales se etiquetaron anotando el respectivo nombre de la localidad colectada, número de árbol por localidad y letra de la viruta que correspondía al lado del que fue extraída. Al término de cada colecta las virutas se conservaron a temperaturas bajas en un refrigerador para evitar la formación de hongos en la madera.

22

4.2 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio comprendió desde la refrigeración de las virutas hasta la obtención de los pesos de las muestras y estimación de la densidad de la madera. Concentradas las muestras de las nueve localidades se comenzó por tomar la medida de cada una de las virutas, contando el número de anillos y anotando ambos datos en la libreta de registro.

Con el fin de observar posibles diferencias en la densidad de la madera, las muestras se seccionaron en tres partes cada 5 cm comenzando de la médula hacia afuera. Según la longitud total de las virutas se obtuvieron de dos a tres secciones y en muchos casos la muestra de la parte exterior fue mayor de 5 cm y en pocos casos las muestras fueron menores a 5 cm de longitud. Algunas secciones de las virutas fueron eliminadas debido a que la madera se encontró dañada.

Con lápiz graso se marcó a cada una de las secciones con su número de localidad, número de árbol, letra de la posición en que se extrajo la viruta (“A” o “B”) y un número del 1 al 3 que correspondió, el uno a la médula, el dos a la parte media y el tres a la parte exterior; un ejemplo es la siguiente forma “3-7A-2” donde el 3 representa a la localidad, el 7 al número de árbol dentro de la localidad, “A” de acuerdo al lado del que fue extraída la viruta y el 2 a la sección o parte media.

23

Las secciones ya marcadas permanecieron en agua el tiempo necesario hasta obtener un peso constante o peso saturado (Ps). Para realizar el pesado de todas las muestras se colocaron en una bandeja lo suficiente grande donde se depositaron todas las secciones para su identificación agregando agua para evitar perdieran la humedad.

En el pesado de todas las muestras se utilizó una balanza analítica con aproximación a diezmilésimas de gramo, una franela húmeda donde se deslizaron

las secciones eliminando el exceso de agua, colocándose posteriormente con pinzas en la balanza y se registró el peso saturado (Ps).

El siguiente paso fue el secado para lo cual procedió de la siguiente manera. Se colocaron las muestras en una estufa de secado a una temperatura de 100°C, aproximadamente, hasta la obtención del peso constante. Entre el momento en que se sacaron de la estufa y el momento de pesar en la balanza analítica, las muestras de madera en estado anhidro se colocaron en una campana con silicagel que se empleó como absorbente de la humedad ambiental; cada una de las muestras se tomó con las pinzas para no impregnarle la humedad de la piel, y se colocó en la balanza analítica registrando también los datos del peso anhidro (Po) en la libreta.

Al tener el peso saturado (Ps) y el peso anhidro (Po), de las secciones de las virutas de madera; se estimó la densidad de la madera para cada sección y tomando las tres secciones como unidad para estimar la densidad total de la viruta, la fórmula que se utilizó fue la del “método del máximo contenido de humedad” (Smith, 1954) que a continuación se presenta:

24

$$DM = \frac{1}{\frac{Ps - Po}{Po} + \frac{1}{Db}}$$

Donde:

DM= Densidad de la madera (g/cm^3)

Ps= Peso saturado (g)

Po= Peso anhidro (g)

Db= Densidad básica de la madera (1.53)

4.3 Análisis estadístico

Primeramente se hicieron gráficas de dispersión de la densidad de la madera con el fin de apreciar como se comporta el valor de la densidad en la sección transversal, de la médula a la periferia, para el promedio de todas las localidades y para cada una de ellas. Para su elaboración se estimaron dos puntos más en las secciones, calculando sus medias entre secciones, obteniendo cinco puntos en las gráficas, los cuales permitieron una mejor apreciación del comportamiento de la densidad de la madera.

Los datos se procesaron en el Software SAS (Stastical Analysis System), versión 6.04, tomando como variables dasométricas el diámetro normal, grosor de corteza, altura total, número de anillos y longitud; como variables de la densidad de la madera fueron la de la parte de la médula (DM1), la parte media (DM2), la parte externa o de la periferia (DM3) y la densidad de la madera total (DMT); además se añadieron variables del sitio que fueron pendiente, altitud y exposición. Esta última variable se basa en tomar un valor ponderado de la siguiente manera, como número uno a las que se encuentran en las exposiciones menos soleadas que van de los 45° Noreste, hasta 45° Noroeste; el dos, a las que están entre los 46° y 90° con rumbos Noreste y Noroeste; y el tres, de los 46° a los 89° con

exposiciones Sureste y Suroeste y el número cuatro para las exposiciones más soleadas que van de los 45° Sureste, hasta los 45° la Suroeste (González, 1997).

Se obtuvieron medidas de tendencia central y de dispersión para las variables de densidad de la madera, longitud y número de anillos, a nivel general y a nivel localidad.

Se realizaron análisis de varianza y análisis de componentes de varianza, para las variables de densidad de la madera (DM1, DM2, DM3 y DMT). El análisis está basado en un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones. Dentro de ambos análisis se incluyeron como fuentes de variación, las localidades (tomando por repeticiones el número de árboles) y árboles dentro de localidades (utilizando como repeticiones los lados “A” y “B” de las tres secciones en cada árbol). Los componentes de los cuadrados medios esperados se muestran en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados en el análisis de varianza de la densidad de la madera de *Pseudotsuga*.

FV	GL	CM	Componentes de los CME
Localidad	L-1	CML	$\sigma^2e + K_1\sigma^2Arb(Loc) + k_2\sigma^2Loc$
Arb(Loc)	$\sum(n_i - 1)$	CMA(L)	$\sigma^2e + K_1\sigma^2Arb(Loc)$
Error	$\sum\sum\sum ln(m-1)$	CMe	σ^2e

FV=Fuente de variación; GL=Grados de libertad; CM=Cuadrados medios; CME=Cuadrados medios esperados; CML=Cuadrados medios de la localidad; CMA (L)= Cuadrados medios de árboles dentro de la localidad; CMe=Cuadrados medios del error; L=Número de localidades; ni=Número de árboles por localidad; l=Localidad; n=Número de árboles por localidad; m=Número de muestras por árbol; K₁=Media armónica del número de muestras por localidad; K₂=Media armónica del número de muestras y número de árboles por localidad; $\sigma^2Arb(Loc)$ =Varianza de localidad; σ^2Loc =Varianza de árboles dentro de localidad; σ^2e =Varianza del error.

El modelo estadístico utilizado contempla muestras dentro de muestras, con el que se puede estimar a la vez el efecto que tienen las muestras (virutas) dentro del árbol (error)g, el de los árboles dentro de la localidad y el de localidades dentro de una población tomada como un universo, este modelo comprende los dos análisis (de varianza y componentes de varianza) y es el siguiente (Snedecor y Cochran, 1981):

$$Y_{ijk} = \mu + P_i + A_{i(j)} + E_{i(jk)}$$

$i=1,2,3,\dots,9$ (localidades)

$j=1,2,3,\dots,8-12$ (árboles dentro de localidad)

$k=1,\dots,2$ (muestras dentro del árbol; del lado "A" y lado "B")

Donde:

Y_{ij} = valor de la observación

μ = efecto de la media general

P_i = efecto de la i -ésima población

$A_{i(j)}$ = efecto del j -ésimo árbol dentro de la i -ésima población

$E_{i(jk)}$ = efecto de la k -ésima muestra, en el j -ésimo árbol de la i -ésima población
(error aleatorio)

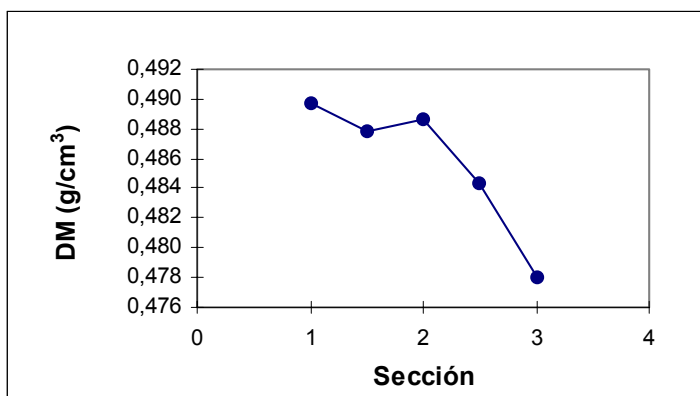
También se realizaron correlaciones simples de Pearson, dependiendo de lo que se quería explorar. Primeramente para conocer la correlación que guardaba la densidad de la madera, tanto entre las secciones del eje transversal con la densidad de la madera en total; otras correlaciones fueron para las variables de la densidad de la madera, la longitud y el número de anillos, contra variables dasométricas y de sitio, como la altura total, el grosor de corteza, el diámetro normal, altitud, pendiente y exposición; finalmente entre variables dasométricas y del sitio.

5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Densidad de la madera en el eje transversal del árbol

28

La variación de la densidad de la madera en la sección transversal a 1.3 m de altura, para el promedio de las nueve localidades muestra una tendencia a disminuir del centro (médula), hacia la periferia (corteza) (Figura1), se debe tener en cuenta que esta tendencia es de manera general y que no es precisamente la



que siguen todas y cada una de las localidades estudiadas.

Figura 1. Tendencia en la sección transversal para la densidad de la madera promedio de nueve localidades de *Pseudotsuga* del Norte de México.

En la mayoría de las especies del género *Pinus* la densidad de la madera presenta una tendencia a incrementar de la médula hacia la corteza, como se reporta para *Pinus taeda* (Zobel y Talbert, 1988), así como *Pinus greggii* (López L., 1997) e inclusive en otros géneros, como en el caso de *Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii* (Vargas y Adams, 1991). Para el caso general de los pinos, esta tendencia es resultado de los cambios de madera juvenil a madera madura, ya que en la primera existe una menor proporción de madera tardía, y ésta tiene mayor densidad como resultado de poseer células de menor tamaño y paredes más gruesas (Zobel y Talbert, 1988; Hocker, 1984).

Es común que en muchos rodales de *Pseudotsuga* se presente crecimiento lento en etapas juveniles, como resultado de su potencial para crecer bajo cierto grado de sombra (Hocker, 1984) y con mayor competencia intra e inter específica (Daniel *et al.*, 1982), por lo cual sería explicable la mayor densidad en etapas juveniles, esto es, la madera cercana a la médula, como en el presente caso.

Podría pensarse que la tendencia general que se observa en la Figura 1 refleja el comportamiento en todas las localidades en estudio. Sin embargo, también debe tenerse presente que los valores promedio pueden disfrazar la variación presente dentro de cada localidad, de manera que sería importante

conocer el comportamiento o tendencia de la densidad de la madera a través de la sección transversal en cada una de las localidades.

Es importante señalar que únicamente cuatro localidades presentaron una tendencia de la variación de la densidad de la madera similar a la tendencia general antes señalada, mientras que las cinco localidades restantes presentaron una tendencia diferente, como se explica enseguida (Figura 2) (Ver archivo: Cuadros).

Las localidades El Quemado, Coah., Cañón Los Lirios, Coah., El Potosí, N.L. y Puerto Casas Viejas, N.L. muestran una tendencia en la densidad de la madera de disminuir del centro a la periferia (Figuras 2a, 2b, 2c y 2d), esto es, similar a la

Figura 2

tendencia general. Esto se podría explicar por la competencia que debió tener probablemente en etapas juveniles el arbolado produciendo madera con más alta densidad y una vez liberado, su tasa de crecimiento aumentó a la vez que disminuyó la densidad de la madera.

Por su parte en las localidades Cañón Jamé, Coah., El Coahuilón, Coah. y La Marta, Coah., la densidad de la madera fue menor cerca de la médula, después aumenta y al final tiende a disminuir (Figuras 2e, 2f y 2g), lo cual podría tener una

posible explicación si en las primeras etapas se hubiese presentado un rápido crecimiento debido a poca competencia y después, al crecer los brinzales haya aumentado la competencia, disminuido la velocidad de crecimiento e incrementado la densidad de la madera, posteriormente podría existir liberación de brinzales por cortas o muerte por la misma competencia, lo cual aumentaría nuevamente la velocidad de crecimiento y disminuiría la densidad de la madera.

El otro caso diferente se presenta en las localidades El Tarahumar, Dgo. y La Viga, Coah., donde la densidad de la madera presentó una tendencia a incrementar de la médula hacia la corteza y después parece estabilizarse (Figuras 2h y 2i), de manera similar a la que se presenta en el género *Pinus*. Es probable que en estas localidades en las primeras etapas no se haya presentado una competencia muy marcada y ello podría haber favorecido un rápido crecimiento formando madera de baja densidad, posteriormente fue disminuyendo la velocidad de crecimiento y aumentando la densidad de la madera.

5.2 Medidas de tendencia central y dispersión

En el Cuadro 3 se presentan los valores promedio general y algunos estadísticos de dispersión, para las variables de la densidad de la madera, largo de muestra y número de anillos. Al observar los valores promedio de la densidad de la madera cercana a la médula (DM1=0.490 g/cm³), intermedia (DM2=0.489 g/cm³) y cercana a la corteza (DM3=0.478 g/cm³), se puede notar que varían muy poco entre ellos, con un ligero decremento del centro hacia la periferia; tal como

ya se había comentado sobre la variabilidad a través de la sección transversal, a nivel general.

Cuadro 3. Valores promedio y medidas de dispersión en *Pseudotsuga* para las variables de densidad de la madera, distancia de la médula a la periferia y número de anillos.

Variable	N	Media	Mínimo	Máximo	CV (%)
DM1 (g/cm ³)	166	0.490	0.355	0.687	12.19
DM2 (g/cm ³)	159	0.489	0.336	0.666	10.97
DM3 (g/cm ³)	148	0.478	0.302	0.638	10.34
DMT (g/cm ³)	169	0.485	0.370	0.641	9.12
LONG (cm)	169	15.66	8.9	22.8	19.97
NA (No.)	169	64.59	28	138	38.40

DM1=Densidad de madera cercana a la médula; DM2=Densidad de madera parte intermedia; DM3=Densidad de la madera cercana a la corteza; DMT=Densidad de madera total; LONG=Distancia de la médula a la periferia; NA=Número de anillos; N=Número de observaciones; CV(%)=Coeficiente de variación en porcentaje.

Las medias de las secciones de la densidad de la madera dan una apariencia poco variable entre ellas, más la media no es una medida que pueda representar debidamente los valores de una población donde los cuales no guardan una uniformidad, tal como se ha podido ver en las nueve localidades (Figura 2), donde la densidad de la madera no sigue la misma tendencia, por lo que para tener una visión más acercada al comportamiento particular en cada localidad pueden verse sus medias en el Apéndice.

Los tres valores de densidad de la madera (DM1, DM2 y DM3) quedan representados por el valor promedio general de la densidad de la madera de toda la sección (DMT=0.485 g/cm³), el cual permite considerarla, de acuerdo con Vidal

y Constantino (1959), como una madera liviana, mientras que de acuerdo con la clasificación hecha por Mackwar y Heck (Echenique y Díaz, 1969), correspondería a una madera moderadamente pesada.

Comparando el valor promedio de la densidad de la madera con algunos trabajos realizados en *Pseudotsuga* resulta presentar rangos muy parecidos, como por ejemplo, Mckimmy y Campbell (1982), reportan un rango entre madera juvenil y madura de 0.416 a 0.490 g/cm³, por su parte Cornelius (1994), en otro trabajo sobre el mismo género da una media de 0.480 g/cm³. Si se compara con el valor que reporta Hocker (1984), de 0.446 g/cm³ es posible ver un tanto mayor la densidad del presente trabajo, estas diferencias resultan un tanto difícil de explicar dado que en todos estos trabajos los valores obtenidos son de árboles de procedencias distintas unas de otras, con diferentes edades y que además crecieron bajo condiciones de competencia distinta por el motivo de que algunos son bosques naturales y otras plantaciones, entre otras causas.

Para tener claridad sobre la forma como afecta cada uno de los componentes del ambiente a la densidad de la madera, sería necesario realizar estudios, como los de los ensayos genéticos. Un ejemplo de ello, podría considerarse el estudio sobre *Pseudotsuga menziesii* que reporta Vargas y Adams (1991), donde se encontró una correlación positiva ($r=0.72$), entre la edad y la densidad de la madera, de manera que conforme aumenta la edad, aumenta el valor de la densidad.

El coeficiente de variación de la densidad de la madera se encuentra alrededor del 10%. Este valor podría parecer de pequeña magnitud; sin embargo debe tenerse presente que la densidad de la madera es una característica con menor variación respecto a otras características. Así por ejemplo, en una plantación de *Pinus patula* de 6 años de edad, el coeficiente de variación de la densidad de la madera fue 7.2%, mientras que en características como altura, diámetro y volumen fue de 12.5, 21.5 y 42.8%, respectivamente (Valencia, 1994). Esta variabilidad de la densidad de la madera bien podría emplearse en programas de mejoramiento genético forestal (Nienstaedt, 1990), dado que dicha característica, en diversos estudios de *Pseudotsuga* se ha encontrado que tiene un fuerte control genético (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Vargas y Adams (1991) reportaron una heredabilidad para la densidad de la madera de *Pseudotsuga* de 0.59; teniendo en cuenta que es el mismo género bien podrían predecirse ganancias en la densidad de la madera al practicar mejoramiento.

Cabe señalar que en algunas muestras se eliminó alguna sección, debido a que se encontraba dañada como se indicó en materiales y métodos. Lo anterior se manifiesta en los valores mínimo de longitud (8.9) y para número de anillos (28), que a su vez, provocan un aumento en el coeficiente de variación de dichas variables, los cuales fueron de 19.97% y 38.40%, respectivamente.

5.3 Análisis de varianza y análisis de componentes de varianza

En el Cuadro 4 (Ver archivo: Cuadros) se exponen los resultados del análisis de varianza y los componentes de varianza para la densidad de la madera a nivel de localidad y de árbol dentro de localidad, éstos para las tres secciones de la viruta y para la densidad de la madera total.

De acuerdo al análisis de varianza la densidad de la madera total (DMT), presentó diferencias altamente significativas para los niveles de localidad y árboles dentro de localidad a un nivel de confianza de $\alpha=0.01$, esto quiere decir que al cambiar de un árbol a otro se presentan diferencias en la densidad de la madera al menos en uno y además, que también se dan al hacerlo de una localidad a otra; por tal razón se rechazan las hipótesis nulas propuestas. Este es un resultado que revela importancia para la variación de la densidad de la madera, dado que por ejemplo, si se implementara un plan de manejo de manera integral que persiguiera como fines su mejoramiento y conservación, el trabajo sería efectivo

Cuadro 4

siendo que para escoger el material se tendrían varias poblaciones y dentro de ellas habría la posibilidad de escoger los árboles deseados.

Para el caso de la densidad de la madera en las secciones, la que mostró diferencias a nivel localidad y árbol dentro de localidad fue la sección cercana a la médula (DM1), esto indica que la variación de la densidad de la madera de esta parte se puede encontrar tanto de una localidad a otra, como entre árboles dentro de una localidad. En el nivel de localidad estas diferencias pueden ser una

respuesta a los microclimas en que se encuentre cada localidad dando lugar a diferentes niveles de competencia mientras que para el nivel árbol dentro de localidad se puede explicar por la competencia dentro de la especie, además de que a este nivel por lo regular las variaciones pueden ser causadas por factores genéticos. La sección cercana a la corteza (DM3) también dejó ver diferencias pero sólo a nivel árbol dentro de localidad. Con esto se puede deducir que posiblemente las condiciones ambientales dentro las localidades no fueron homogéneas al pasar por las primeras etapas creando para cada una de ellas distintos niveles de competencia en el arbolado, o bien, de nuevo atribuirle las diferencias a factores genéticos, o la suma de ambas.

En lo que respecta a los componentes de varianza, considerando que en la densidad de la madera, para propósitos de selección y mejoramiento genético, pocas veces se desea conocer la variación que tiene dentro del árbol y dado que en este trabajo no es el objetivo principal, enseguida sólo se hará referencia a la densidad de la madera total.

Del total de la variación la menor fuente fue para el nivel de localidad (11.24%), la cual a pesar de ser la más baja puede ser utilizable; para el nivel árbol dentro de localidad se tuvo una variación de 38.11%, esto indica que la densidad de la madera tiene variación de una localidad a otra como de un árbol a otro dentro de localidad y que ésta es mayor lo cual podría deberse a factores genéticos. El error, fue el que contribuyó mayormente a la variación total con un 50.65%, esto se atribuye no precisamente a equivocaciones, sino a las fuentes

que no pueden ser explicadas por no incluir los niveles de variación suficientes para comprender a que se debe la mayor parte de la variación, esto quiere decir que la variación de la densidad de la madera debe ser explicada por éstos y otros factores o fuentes de variación.

Estos resultados comparados con los de la variación de la densidad de la madera en *Pinus greggii*, donde el efecto de la población fue de 13% y el efecto de árboles dentro de localidad de 24% (López L.,1997), la variación entre localidades es un poco menor en el presente trabajo sin embargo la que presenta a nivel árbol es más grande, y esto de una manera hace compensar la menor variación a nivel localidad, además si para el mejoramiento se requiere de una selección teniendo variación de una localidad a otra y además de un árbol a otro es posible obtener mayores ganancias (Zobel y Talbert, 1988). Un estudio que pudiera dar importancia a estos resultados, es la fuerte heredabilidad que se reporta en la densidad de la madera de *Pseudotsuga* (Mckimmy y Campbell, 1982).

5.4 Correlaciones

En este apartado se presentan las asociaciones que de alguna manera mostraron significancia, tanto en la densidad de la madera de una manera directa como con los factores que indirectamente pudieran estar relacionados.

En el Cuadro 5 se encuentra las correlaciones de la densidad de la madera tanto entre las secciones como con la densidad de la madera total. Las asociaciones de la densidad de la madera, todas están a un nivel de confianza de

$\alpha=0.01$ por lo que sus resultados son muy confiables. Se puede apreciar como la densidad de la madera total, tiene una relación fuerte con las tres secciones de la viruta ($0.67 \geq r \leq 0.85$) esto quiere decir que cualquiera de estas tres secciones puede representar la densidad de la madera total. Así por ejemplo, tal vez se podría predecir la densidad de la madera total del arbolado adulto en una prueba de progenie a partir del arbolado joven, sin la necesidad de esperar a que llegue a una edad madura.

Cuadro 5. Correlación entre las densidades tomadas a diferentes distancias del eje transversal de *Pseudotsuga*.

	DM2	DM3	DMT
DM1	0.61 **	0.38 **	0.84 **
DM2		0.46 **	0.85 **
DM3			0.67 **

DM1=Densidad de madera cercana a la médula; DM2=Densidad de madera de la parte central; DMT=Densidad de madera total; **=Nivel de significancia de un $\alpha=0.01$.

También se observa que la relación que guarda la densidad de la madera

total con la de la parte cercana a la corteza es menor en comparación a la de las otra dos secciones, esto podría deberse al hecho de que en algunas secciones de la parte cercana a la corteza no se incluyeron en el análisis porque las virutas presentaban daños o algunas de las que se incluyeron no estaban completas, otra causa podría ser de que de acuerdo a Hocker (1984) la madera cercana a la

corteza suele presentar características especiales en algunos géneros por ser la madera formada recientemente.

La correlación entre las secciones también es de ligera ($r=0.38$) a moderadamente fuerte ($r=0.61$); lo cual indica que si aumenta la densidad de la madera del centro lo hace la demás madera, esto habla de uniformidad en la densidad de la madera en el árbol, o dicho de otra manera, de un probable control genético. Así también es posible ver como la asociación entre las secciones (DM1, DM2 y DM3), disminuye conforme las secciones están más separadas ($0.38 \leq r \leq 0.61$).

A continuación se presentan las correlaciones que hay entre los valores dasométricos y de sitio como son la altura, el grosor de corteza y el diámetro normal con la densidad de las secciones y de la madera total, la longitud y el número de anillos de la viruta (Cuadro 6).

Cuadro 6. Correlación entre las diferentes densidades de la madera, número de anillos y distancia con variables dasométricas del arbolado de *Pseudotsuga*.

	HT	GC	DN
DM1	NS	NS	NS
DM2	0.25 *	0.27 *	NS
DM3	0.32 **	NS	NS

DMT	0.26 *	NS	NS
LONG	0.55 **	0.27 *	0.83 **
NA	0.26 *	0.28 **	0.38 **

DM1=Densidad de madera de la médula; DM2=Densidad de madera de la parte central; DMT:=Densidad de madera total; LONG=Distancia de la medula a la periferia; NA=Número de anillos; DN=Diámetro normal; GC=Grosor de corteza; HT=Altura total; NS=No significativo; **=Nivel de significancia a un $\alpha=0.01$; *=Nivel de significancia a un $\alpha=0.05$.

La altura total (HT) mostró tener una ligera correlación con la densidad de la madera de la sección cercana a la corteza (DM3) ($r=0.32$), en un grado menor estuvo con la de la sección intermedia (DM2) ($r=0.25$) y con la densidad de la madera total (DMT) ($r=0.26$). De manera general de acuerdo a la relación que guardan es posible decir que los árboles más altos son los que presentan la densidad de la madera, mas alta esto es quizá por ser los árboles de mayor edad lo cual hace que la densidad de la madera sea mayor o por que la calidad de sitio es favorable permitiendo así que los árboles puedan tener gran altura y alta densidad. Algunos estudios han encontrado una relación negativa fuerte entre la densidad de la madera y el volumen de *Pseudotsuga* (Loo *et al.*, 1991; Vargas y Adams, 1991). Así también en el mismo trabajo de Vargas y Adams (1991) se pudo ver una relación negativa entre la densidad de la madera y la altura, sin embargo debe tenerse en cuenta que las condiciones del arbolado fueron en plantaciones donde tenían un espacio adecuado, condiciones de humedad favorables por lo que tal vez tenía disponibles todos los factores necesarios, y el incremento sea tan grande que la densidad de la madera disminuya, siendo esto todo lo contrario para el presente trabajo.

La asociación de la longitud de la viruta (LONG) con el grosor de corteza (GC) ($r=0.27$) y el diámetro normal (DN) ($r=0.83$) indica que al aumentar la distancia de la médula a la periferia lo hacen en conjunto el grosor de corteza y el diámetro del árbol. La longitud de la viruta corresponde a la mitad de lo que sería el diámetro normal sólo que sin el ancho que faltaría correspondiente a la corteza es por eso que la relación es muy fuerte.

La altura total tuvo relación fuerte con la longitud ($r=0.55$) y una menor correlación con el número de anillos ($r=0.26$). Por lo que al aumentar la altura incrementarían también la longitud y el número de anillos que viene siendo la edad, esto de acuerdo con Klepac (1976) es lo más normal, esto es, a mayor edad aumenta el tamaño del árbol.

El número de anillos resultó estar fuertemente relacionado con el grosor de corteza ($r=0.28$) y el diámetro normal ($r=0.38$), con esto se puede decir que al avanzar la edad aumenta el diámetro junto con la corteza. El tejido de cambium por lo regular produce tejido tanto para la producción de madera como para la corteza (Daniel *et al.*, 1982) por lo que el aumento de estas dos es proporcional conforme incrementa su edad.

Sólo una de las secciones (DM2) estuvo correlacionada con el grosor de corteza ($r=0.27$) por lo que al aumentar éste, también lo hará la densidad de la madera, aún a pesar de no estar relacionados directamente.

Las correlaciones entre el diámetro normal (DN), el grosor de corteza (GC), la altura total (HT) y la exposición (EXP) pueden verse en el Cuadro 7. El diámetro normal, el grosor de corteza y la altura total están asociados positivamente entre ellos, esto indica que al aumentar la altura, entonces aumentara también el diámetro normal y el grosor de corteza, esto es similar a lo que sucedió en las correlaciones explicadas en el cuadro anterior, esto es resultado de la edad de los árboles. En las coníferas es común que al aumentar la altura de un árbol tienda a hacerlo su diámetro (Daniel *et al*, 1982) para conservar una proporción y que el grosor de corteza incrementa de igual forma, lo cual se ha reportado en numerosos trabajos, por ejemplo la altura se asoció con el diámetro normal en *Pinus patula* (Valencia, 1994) y en *Pinus rudis* (Gonzalez, 1997).

Cuadro 7. Correlación entre las variables dasométricas y de localización de *Pseudotsuga*.

	GC	HT	EXP
DN	0.42 **	0.72 **	NS
GC		0.31 **	NS
HT			-0.40 **

DN=Diámetro normal; GC=Grosor de corteza; HT=Altura total; NS=No significativo; **=Nivel de significancia a un $\alpha=0.01$.

La exposición tuvo una relación negativa altamente significativa con la altura total del arbolado ($r=-0.40$), lo cual indica que cuando se encuentre en la exposición Sur, esto es, más expuesto al sol, su altura será menor que la de los árboles que se encuentren en exposiciones más al Norte. Cuando los árboles tienen muy poca luz solar tienden a crecer compitiendo por este factor lo que hace que sobresalgan en altura (Daniel *et al.*, 1984); además tomando en cuenta que la

humedad en exposiciones Sur es menor; su crecimiento no es mayor que en las exposiciones Norte donde su altura será mayor, dado que las condiciones de humedad son más favorables para el crecimiento; podría decirse, que se trata de mejor calidad de sitio en las exposiciones Norte.

6 CONCLUSIONES

45

Las conclusiones obtenidas en el trabajo, a partir de los resultados, se presentan a continuación.

- a) La densidad de la madera promedio de las nueve localidades de *Pseudotsuga* presentó una tendencia de disminuir de la médula a la corteza.
- b) La tendencia de la densidad de la madera por localidad se presentó en tres patrones; el primero se comportó de manera similar a la general y agrupó a las localidades El Quemado, Coah., Cañón Los Lirios, Coah., El Potosí, N.L. y Puerto Casas Viejas, N.L.; en el segundo patrón la densidad de la madera mostró valores bajos en el centro aumentando en la parte intermedia, posteriormente hubo una disminución en la medida que se avanzó a la parte cercana a la periferia, esto en las localidades Cañón Jamé, Coah., El Coahuilón, Coah. y La Marta, Coah.; la localidad del Tarahumar de la Sierra Madre Occidental se comportó de manera similar a la localidad La Viga de la Sierra Madre Oriental, aumentando de la médula a la periferia.
- c) La densidad de la madera presentó como valores promedio 0.490 g/cm^3 , 0.489 g/cm^3 y 0.475 g/cm^3 para las secciones cercana a la médula, intermedia y cercana a la corteza, respectivamente.
- d) El promedio en general de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* fue de 0.485 g/cm^3 , clasificándose como madera moderadamente pesada.
- e) De la variación total en la densidad de la madera, el 11.24% se atribuyó al nivel localidad, el 38.11% a árboles dentro de localidad y el 50.65% al error.

- f) Las secciones que mostraron diferencias entre árboles dentro de localidad fueron la cercana a la médula y cercana a la corteza; la única que tuvo diferencias entre localidades fue la cercana a la corteza; la sección de la parte intermedia fue la que no mostró diferencias en ningún nivel.
- g) Las tres secciones presentaron una fuerte correlación con la densidad de la madera total ($0.67 \geq r \leq 0.85$).
- h) La densidad de la madera total se asoció positivamente con la altura total ($r=0.26$).
- i) Las variables de crecimiento del arbolado, altura total, diámetro normal y grosor de corteza presentaron una correlación positiva entre ellas ($0.31 \geq r \leq 0.42$).

7 LITERATURA CITADA

- Albert, H. F. 1965. Botánica económica. 2a. Edición. Ediciones Omega S.A. Barcelona. 616 p.
- Bach, L. 1970. Rupture characteristics of early wood and late wood under stress relaxation. Wood Science. 3: 31-33.
- Callaham, R. Z. 1964. Investigación de procedencias: estudio de la diversidad

- genética asociada a la geografía. Unasilva. 18(2-3): 40-50.
- Cetenal. 1972a. Carta Edafológica. G14C42 Sierra El Laurel Coah. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1972b. Carta Uso de Suelo.G14C42 Sierra El Laurel Coah. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1976a. Carta Edafológica. G14C35 San Antonio de Las Alazanas. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1976b. Carta Geológica. G14C35 San Antonio de Las Alazanas. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1976c. Carta Uso de Suelo. G14C35 San Antonio de Las Alazanas. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1977a. Carta Edafológica. G14C45 San Rafael. Esc. 1: 50, 000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1977b. Carta Uso de Suelo.G14C56 Galeana Nuevo León. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1977c. Carta Uso de Suelo. G14C45 San Rafael. Esc. 1: 50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cetenal. 1980. Carta Geológica. G14C42 Sierra El Laurel Coah. Esc.1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Cornejo O., E. H. 1987. Aspectos ecológicos y dasonómicos del bosque de *Pseudotsuga-Pinus-Abies* en la Sierra de la Marta, Arteaga, Coahuila. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo, Coahuila. 196 p.
- Cornelius, J. 1994. Heritabilities and additive coefficient of variation in forest trees. Can. J. For. Res. 24: 372-379.
- Daniel, T. W., J. A. Helms, y F. S. Baker, 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México. 490 p.
- De la Loma, J. L. 1979. Genética general y aplicada. UTEHA. México. 752 p.
- Detenal. 1977a. Carta Edafológica. G14C56 Galeana Nuevo León. Esc. 1:50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Detenal. 1977b. Carta Geológica. G14C45 San Rafael Coah. Esc. 1: 50,000. Secretaría de la Presidencia.

- Detenal. 1977c. Carta Geológica. G14C56 Galeana Nuevo León. Esc. 1: 50,000. Secretaría de la Presidencia.
- Domínguez A., F. A. 1994. Análisis histórico–ecológico de los bosques de *Pseudotsuga* en México. INIFAP. Centro de Investigación Regional del Golfo-Centro Campo Experimental. Folleto Técnico No. 23. División Forestal. México. 43 p.
- Echenique, M. R. Y G. V. Díaz, 1969. Algunas características tecnológicas de la madera de once especies mexicanas. INIF. Boletín Técnico No. 27. México. 61 p.
- Franco P., J. G. 1990. Dinámica de la regeneración natural de *Pseudotsuga flahaulti* Flous, en el bosque de *Pseudotsuga – Pinus - Abies*. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. 158 p.
- González L., H. D. 1997. Calidad de sitio e incremento de la regeneración de *Pinus rudis* Endl. de la región de San José de la Joya, Galeana Nuevo León. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo, Coahuila, México. 121 p.
- Greaves, B. L., N., M. G. Borralho; C. A. Raymond y A. Farrington. 1996. Use of Pylodin for the indirect selection of basic density in *Eucalyptus nitens*. Can. J. For. Res. 26(9):1643-1650.
- Halffter, G. 1996. Acta zoológica. CYTED-D. Instituto de Ecología, A. C. Secretaría de Desarrollo Social. pp. 3-24.
- Harris, J. M. 1963. The influence of environment on the wood density of radiata pine grown in New Zealand. Actas de la consulta Mundial sobre Genética Forestal y Mejora del Árbol. FAO. 63- 7/3. Roma. 9+4 p.
- Hernández G., J. J. 1986. Variación morfológica de acículas conos y semillas de *Pinus chiapensis* de Oaxaca y Chiapas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 91 p.
- Hernández de la R., P. 1989. Variación morfológica intra-árbol en *Pinus cooperi* Blanco, *P. durangensis* Martínez y *P. engelmannii* Carr. Procedentes de El Salto, Dgo. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 102 p.
- Hocker Jr., W. H. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT. S.A. México. 446p.
- Hill, A. F. 1965. Botánica económica. 2a. Edición. Omega. Barcelona. 616 p.
- INEGI. 1987a. Carta de efectos climáticos regionales, Mayo-Octubre. G14-10.

Concepción del Oro Zacatecas.

INEGI. 1987b. Carta de efectos climáticos regionales, Noviembre-Abril. G14-10. Concepción del Oro Zacatecas.

INEGI. 1990a. Carta de efectos climáticos regionales, Mayo-October. G14-7. Monterrey N.L. Esc. 1:250,000.

INEGI. 1990b. Carta de efectos climáticos regionales, Noviembre-Abril. G14-7. Monterrey N.L. Esc. 1:250,000.

Jacob C., V. 1998. Efecto del déficit hídrico sobre algunos parámetros fisiológicos en *Eucalyptus camaldulensis* y *Gliricidia sepium*. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 95 p.

Jett, J. B., S.E. Mckeand y R.J. Weir, 1991. Stability of juvenile wood specific gravity of loblolly pine in diverse geographic areas. Can. J. For. Res. 21:1080-1085.

Jozsa, L. A. Y H. Brix. 1989. The effects of fertilization and thinning on wood quality of a 24-year-old Douglas-fir stand. Can. J. For. Res. 19:1137-1145.

Kleinschmit, J. y J. Ch. Bastien, 1992. IUFRO'S. Role in Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb) Franco) tree improvement. Silvae Genetica. 41:161-173.

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

Kollman, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, España. 675 p.

Ladrach, W. E. 1984. Calidad de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham. Investigación Forestal. Cartón de Colombia. Informe de Investigación No.92. Cali, Colombia. 17 p.

Ladrach, W. E. 1987. Calidad de la madera de *Pinus oocarpa*. Investigación Forestal. Cartón de Colombia. Informe de Investigación No.116. Cali, Colombia. 7 p.

Larios S., P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.

- Loo, D. J. A., C.C. Ying. y E. A. Hamm. 1991. Stem volume and wood relative density of a non-local Douglas-Fir provenance in birtish Columbia. *Silvae Genetica*. 40:29-35
- López A., F. 1997. Variación en densidad de la madera entre y dentro de árboles en *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agrara Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- López L., M. 1997. Variación en la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm en el Norte de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 68 p.
- Martínez, M. 1949. Anales del Instituto de Biología.1: 129-184.
- Mettler, L. E. y T. G. Gregg, 1972. Genética de las poblaciones y evolución. UTEHA: México. 245 p.
- Morales B., S. 1995. Variación de características morfológicas y anatómicas de acículas en poblaciones naturales de *Pinus engelmannii* y *Pinus cooperi* Blanco. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 41 p.
- Morandini, R. 1964. Genética y mejora de las especies exóticas forestales. *Unasilva*. 18 (2-3): 51-60.
- McKimmy, M. D. y R. K. Campbell, 1982. Genetic variation in the wood density and ring width trend coastal Douglas-Fir. *Silvae Genetica*. 31:43-51.
- Muñoz C., E. 1995. Variación morfológica en acículas, conos y plántulas de distintas procedencias de *Pinus cembroides* Zucc. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 41 p.
- Nienstaedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. En: Memoria mejoramiento genético y plantaciones forestales. Eguiluz P., T. Y A. Plancarte B., A. Editores: Lomas de San Juan, Chapingo, México. pp. 16-27.
- Notivol, E., L.A. Gil y J. A. Pardos, 1992. Una metodología para la estimación de la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado de variabilidad en *Pinus pinaster* Ait. *Sist. Recur. For.* 1:41-47.
- Preston Jr., R. J. 1976. North American Trees. The M. I. I. P.R.E.S. 395 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. LIMUSA. S.A. México. 432 p.

- SARH. 1985. Inventario forestal del estado de Coahuila. Publicación Especial INIF No. 51. México. 79 p.
- SEDESOL. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-059. Diario Oficial de la Federación. México pp. 1-60.
- Santos G., R. 1998. Variación morfológica y anatómica en hojas y conos de ocho localidades de *Pseudotsuga* del Norte de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- Santiago C., M. 1995. Variación de caracteres morfológicos y anatómicos de acículas en poblaciones naturales de *Pinus durangensis* Martínez. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Snedecor, G. y W. G. Cochran 1981. Métodos estadísticos. CECSA. México. 703 p.
- Smith, D. M. 1954. Maximun moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. Forest Products Laboratory. Report 2014. Madison, Wi. 8 p.
- SPP. 1981. Atlas Nacional de Medio Físico. Secretaría de Programación y Presupuesto. México. 223 p.
- SPP. (S/F). Carta hidrológica de aguas superficiales. G14-7 Monterrey. Esc. 1:250,000.
- Vaca G., A. 1992. Variación del peso específico de la madera y longitud de traqueidas dentro de árboles de *Pinus cembroides* Zucc. de la región de Santiago Papasquiaro, Durango. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Valencia M., S., J. J. Vargas H. Y J. M. Chacón S. 1993. Un método sencillo para la estimación de la densidad de la madera. Congreso forestal mexicano. Saltillo, Coahuila, México. pp. 77.
- 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. 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.
- Van Buijtenen, J. P. 1963. Inheritance of wood properties and their relation to growth rate in *Pinus taeda*. Actas de la consulta mundial sobre genética forestal y mejora del árbol. FAO. 63-7/3. 13+5 p.
- Vargas H., J. y W.T. Adams, 1991. Genetic variation of wood density components in young coastal Douglas-fir: implications for tree breeding. *Can. J. For. Res.* 21:1801-1807.
- Vidal J., J. Y N. Constantino I, 1959. Iniciación a la ciencia forestal. SALVAT. Barcelona. 547 p.
- Yáñez M., O y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus stroobus* var. *chiapensis* Mtz. 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. *Unasilva*. 18(2-3).
- Zobel, B. J. y J. T. Talbert, 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA. México. 545 p.
- Zobel, B.J. y J. P. Van Buijtenen. 1989. Wood variation: its causes and control. Springer-Verlag. Germany. 363. p
- Wright, J. A. Y L. F. Osorio. 1992. Variación de la madera entre procedencias de *Pinus maximinoi* a los 14.5 años de edad en Colombia. Cartón de Colombia. Informe de Investigación No. 147. Cali Colombia. 5 p.

APENDICE

1. Valores promedio y medidas de dispersión de la densidad madera de *Pseudotsuga* de las nueve localidades.

Localidad	Media (g/cm ³)	Mínimo(g/cm ³)	Máximo(g/cm ³)	CV (%)
Puerto Casas Viejas, N.L.	0.510	0.398	0.594	10.48
El Potosí, N.L.	0.507	0.446	0.641	9.34
El Quemado, Coah.	0.502	0.461	0.544	4.15
Cañón Los Lirios, Coah.	0.502	0.397	0.593	9.52
Cañón Jamé, Coah.	0.482	0.386	0.552	9.89
La Viga, Coah.	0.474	0.413	0.558	8.00
El Coahuilon, Coah.	0.473	0.411	0.545	7.68
El Tarahumar, Dgo.	0.464	0.370	0.538	9.34
La Marta, Coah.	0.462	0.398	0.530	7.64

2. Agrupaciones de medias para la densidad de la madera en el eje transversal, distancia de la medula a la periferia y número de anillo las nueve localidades de *Pseudotsuga*.

Localidad	DM1	DM2	DM3	DMT
Puerto Casas Viejas, N.L.	A	A	A	A
El Potosí, N.L..	A	A	A	A
El Quemado, Coah.	A B	A	A	A B

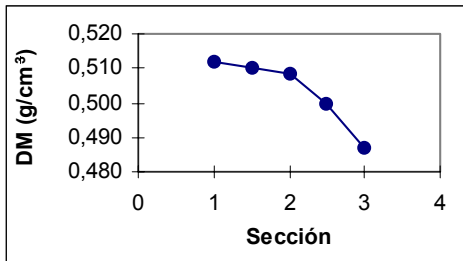
Cañón Los Lirios, Coah.	A	B		A	A	A	B	C
Cañón Jame, Coah.		B	C	A	A	A	B	C
La Viga, Coah.			C	A	A	A	B	C
El Coahuilón, Coah.			C	A	A	A	B	C
El Tarahumar, Dgo.			C	A	A			C
La Marta, Coah.			C	A	A			C

DM1= Densidad de madera cercana a la medula; DM2= Densidad de madera parte media; DM3= Densidad de la periferia; DMT= Densidad de madera total. (Letras iguales significa que las medias son semejantes).

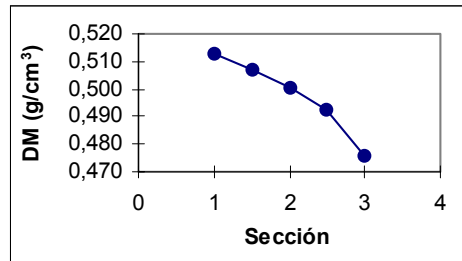
Cuadro 1. Datos de localización, orografía, geología, edafología y climáticos de nueve localidades de *Pseudotsuga* del Norte de México.

Localidad	Latitud (Norte)	Longitud (Oeste)	Altitud (msnm)	Exposición predominante	Roca	Suelo	Fórmula climática	Temperatura media anual	Precipitación media anual	Temperatura media por período		Precipitación media por período	
										May-Oct	Nov- Abr	May-Oct	Nov- Abr
Puerto Casas Viejas, N.L.	24°54'34" 24°54'50"	100°15'26" 100°15'51"	2250 - 2635	Norte	Sedimentaria, Lutita y asociación de Caliza-Lutita	Litosol y luvisol	$C(w_1)(x')$	15°C	600 mm	18°C	15°C	475 mm	150 mm
La Marta, Coah.	25°13'47" 25°14'19"	100°25'12" 100°27'41"	2540 - 2860	Norte	Sedimentaria, Caliza y Lutita	Litosol	$Bs_1hw(x')$	12°C	500 mm	18°C	13.5°C	475 mm	140 mm
El Coahuilón, Coah.	25°13'50" 25°14'10"	100°22'05" 100°22'30"	2530 - 3270	Sur	Sedimentaria, Caliza y Lutita	Litosol	$Bs_1hw(x')$	12°C	500 mm	18°C	12°C	475 mm	137.5mm
La Viga, Coah.	25°21'34" 25°22'19"	100°32'34" 100°32'48"	2940 - 3130	Sur	Sedimentaria y Caliza	Litosol	$C(w_1)$	10°C	500 mm	15°C	10.5°C	475 mm	150 mm
Cañón Jamé, Coah.	25°18'40" 25°19'47"	100°31'34" 100°32'21"	3320 - 3490	Norte	Sedimentaria, Caliza y Lutita	Litosol y solonchak	$C(w_1)$	12°C	500 mm	18°C	12°C	475 mm	125 mm
Cañón Los Lirios, Coah.	25°21'37" 25°22'35"	100°31'08" 100°31'42"	2190 - 3380	Norte	Sedimentaria, Lutita, Arenisca y Caliza	Litosol y regosol	$C(w_1)$	12°C	500 mm	16.5°C	12°C	475 mm	150 mm
El Tarahumar, Dgo.	25°30'00" 25°37'00"	106°10'00" 106°25'00"	2550 - 2700	Norte	Sedimentaria, y Volcanosedimentaria	Litosol asociación areno-litosol y regosol	$C(w_2)(x')$	10.5°C	932.5 mm	13.5°C	7.4°C	679.9mm	253.4mm
El Quemado, Coah.	25°13'47" 25°14'16"	101°29'03" 101°30'39"	2300 - 2750	Norte	Sedimentaria y Caliza	Asociación de Litosol-eúrico	Bs_1kx'	16°C	500 mm	19.5°C	16.5°C	400 mm	100 mm
El Potosí, N.L.	24°52'57" 24°53'38"	100°11'57" 100°12'52"	2360 - 2560	Norte	Sedimentaria, Lutita, y asociación de Caliza-Lutita	Litosol y luvisol	$C(w_1)(x')$	15°C	600 mm	18°C	15°C	475 mm	150 mm

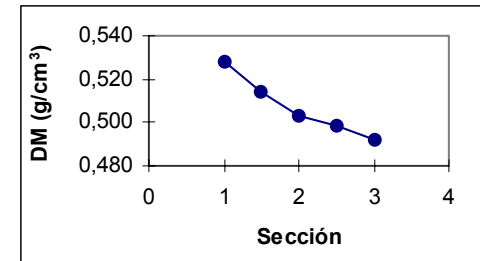
(Fuente: CETENAL, 1972a, 1972b, 1976a, 1976b, 1976c, 1977a, 1977b, 1977c, 1980; DETENAL, 1977a, 1977b, 1977c; INEGI, 1987a, 1987b, 1990a, 1990b; SPP, 1981, S/F)



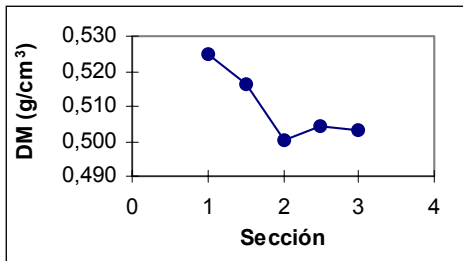
a) El Quemado, Coah.



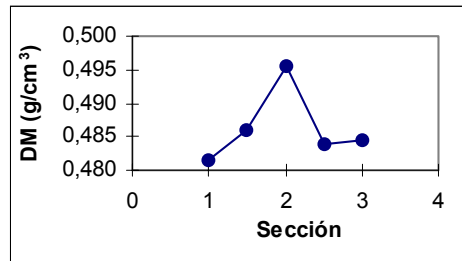
b) Cañón Los Lirios, Coah.



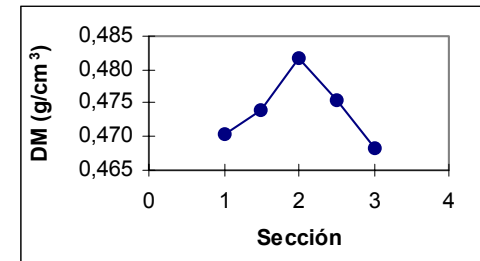
c) El Potosí, N.L.



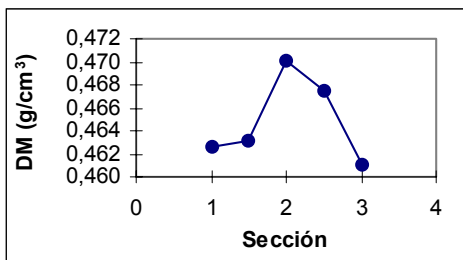
d) Puerto Casas Viejas, N.L.



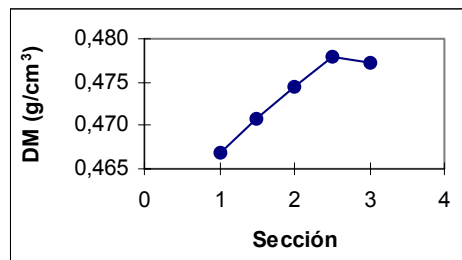
e) Cañón Jamé, Coah.



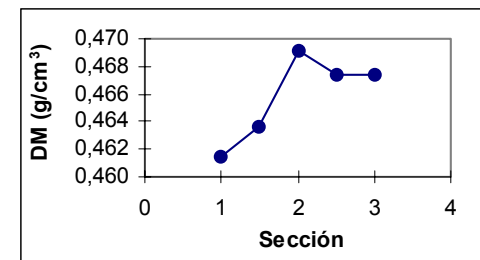
f) El Coahuilón, Coah.



g) La Marta, Coah.



h) La Viga, Coah.



i) El Tarahumar, Dgo.

Figura 2. Tendencia en la sección transversal para la densidad de la madera de *Pseudotsuga* en nueve localidades del Norte de México.

Cuadro 4. Análisis de varianza y componentes de varianza de las densidades de madera a diferentes distancias de la médula a la periferia en el eje transversal de *Pseudotsuga*.

Var	FV	GL	CM	Fc	Pr>F	CVE	CVE %	Componentes de los CME
DM1	Loc	8	0.0146	8.84	0.001 **	0.00052126	14.37	$\sigma^2e+1.9759\sigma^2Arb(Loc)+18.38 \sigma^2Loc$
	Arb(Loc)	76	0.0045	2.83	0.001 **	0.00150565	41.50	$\sigma^2e+1.9502\sigma^2Arb(Loc)$
	Error	81	0.0016			0.00160117	44.13	σ^2e
DM2	Loc	8	0.0044	1.68	0.11 NS	0.00008112	2.82	$\sigma^2e+1.9759\sigma^2Arb(Loc)+18.38 \sigma^2Loc$
	Arb(Loc)	76	0.0030	1.13	0.29 NS	0.00018430	6.39	$\sigma^2e+1.9502\sigma^2Arb(Loc)$
	Error	74	0.0026			0.00261729	90.79	σ^2e
DM3	Loc	8	0.0026	1.81	0.09 NS	0.0	0.0	$\sigma^2e+1.9759\sigma^2Arb(Loc)+18.38 \sigma^2Loc$
	Arb(Loc)	72	0.0033	2.28	0.0004 **	0.00102637	41.22	$\sigma^2e+1.9502\sigma^2Arb(Loc)$
	Error	67	0.0015			0.00146374	58.78	σ^2e
DMT	Loc	8	0.0067	6.65	0.0001 **	0.0002337	11.24	$\sigma^2e+1.9759\sigma^2Arb(Loc)+18.38 \sigma^2Loc$
	Arb(Loc)	76	0.0025	2.50	0.0001 **	0.00075731	38.11	$\sigma^2e+1.9502\sigma^2Arb(Loc)$
	Error	84	0.0010			0.00100649	50.65	σ^2e

DM1=Densidad de la madera cercana a la médula; DM2=Densidad de la madera de la parte media; DM3=Densidad de la madera cercana a la corteza; DMT= Densidad de la madera total; Var=Variable; FV=Fuente de variación; GL=Grados de libertad; CM=Cuadrados medios; Fc=Valor calculado de F; Pr>F=Probabilidad de α para rechazar F calculada; CVE=Componentes de varianza esperados; CVE(%)=Componentes de varianza esperados en porcentaje; Loc=Localidad; Arb(Loc)=Árbol dentro de localidad, **=Altamente significativo a un $\alpha \leq 0.01$, NS=No significativo; $\sigma^2Arb(Loc)$ =Varianza de localidad; σ^2Loc =Varianza de árboles dentro de localidad; σ^2e =Varianza del error .