

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Variación en densidad de la madera en el perfil interno de árboles de *Pinus montezumae* Lamb. de Gerahuaro, Michoacán.

Por:

Nazario Alberto Gutiérrez Hernández

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Variación en densidad de la madera en el perfil interno de árboles de *Pinus montezumae* Lamb. de Gerahuario, Michoacán.

Por

Nazario Alberto Gutiérrez Hernández

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Asesor principal

Coordinador de la División de Agronomía

M.C. Salvador Valencia Manzo

Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Noviembre 2007

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Variación en densidad de la madera en el perfil interno de árboles de *Pinus montezumae* Lamb. de Gerahuario, Michoacán.

Por

Nazario Alberto Gutiérrez Hernández

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Aprobada:

M.C. Salvador Valencia Manzo
Asesor Principal

Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo
Asesor

M.C. Luis Morales Quiñones
Asesor

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Noviembre 2007

Si una persona es perseverante, aunque sea dura de entendimiento, sea hará inteligente; y aunque sea débil se transformara en fuerte.

Leonardo Da Vinci

DEDICATORIA

A la familia Gutiérrez, base de todo lo que hago y hare

En especial a: Adelina Gutiérrez Hernández †

AGRADECIMIENTOS

A mi ALMA MATER, por brindarme la oportunidad de superarme.

Al Departamento de Ciencias Básicas de la UAAAN, por brindarme las facilidades necesarias para este trabajo.

A los profesores del Departamento Forestal de la UAAAN, por su valiosa e invaluable contribución a mi formación profesional.

Al M.C. Salvador Valencia Manzo. Por su valiosa asesoría, dedicación y sobre todo paciencia en la revisión de este trabajo.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo. Por su contribución en la mejora de este trabajo.

Al M.C. Luis Morales Quiñones. Por las aportaciones en la mejora de este trabajo.

Al Ing. Oscar Mares Arreola. Por su valiosa ayuda, en la elaboración de las figuras.

CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	iv
RESUMEN.....	v
I INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos.....	2
II REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Variación.....	3
2.1.1 Causas de la variación de la madera.....	4
2.1.2 Formación de la madera	5
2.1.3 Tipos de madera.....	5
2.2 Densidad de la madera.....	6
2.2.1 Importancia de la densidad de la madera	6
2.2.2 Estimación de la densidad de la madera.....	7
2.3. <i>Pinus montezumae</i>	10
2.3.1 Distribución.....	11
2.3.2 Ecología.....	11
2.3.3 Importancia económica.....	12
III METODOLOGÍA	14
3.1 Área de estudio.....	14
3.1.1 Localización.....	14
3.1.2 Orografía.....	14
3.1.3 Geología.....	14
3.1.4 Clima.....	16
3.1.5 Suelos.....	16
3.1.6 Vegetación.....	16

3.2 Trabajo de campo.....	17
3.2.1 Selección de árboles.....	17
3.2.2 Obtención e identificación de las muestras.....	17
3.2.3 Seccionado.....	18
3.2.4 Saturación y pesado de las muestras.....	19
3.2.5 Secado y pesado de las muestras.....	19
3.2.6 Determinación de la densidad de la madera.....	20
3.3 Análisis estadístico.....	20
3.3.1 Método y procesamiento de los datos.....	22
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24
4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión de la densidad de madera.....	24
4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza.....	27
4.3 Variación transversal.....	28
4.4 Variación longitudinal.....	30
V CONCLUSIONES.....	34
VI RECOMENDACIONES.....	35
VII LITERATURA CITADA.....	36
VIII APÉNDICE.....	41

ÍNDICE DE CUADROS

		Página
Cuadro 1.	Alturas de corte de los cuatro árboles de de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.	18
Cuadro 2.	Componentes de los cuadrados medios esperados del análisis de varianza en densidad de la madera de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.	21
Cuadro 3.	Medidas de tendencia central y de dispersión para la densidad de la madera en cuatro árboles de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro. Mich.	24
Cuadro 4.	Resultados del análisis de varianza y componentes de varianza para la densidad de la madera de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro. Mich.	28

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de la comunidad indígena de Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.	15
Figura 2. Marcado y seccionado de las muestras de madera empleadas en este estudio	
Figura 3. Tendencia en la sección transversal para la media de la densidad de la madera por ciclos de crecimiento de cinco años para <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.	29
Figura 4. Tendencia en la sección longitudinal para la media de la densidad de la madera, para cada una de las alturas de corte en <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.	31
Figura 5. Representación esquemática de la variación de la densidad de la madera (g cm^{-3}) en el perfil interno de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.	33

RESUMEN

La densidad de la madera (DM) determina el uso posterior de esta, de acuerdo a la cantidad de celulosa, fuerza, resistencia y cualidades mecánicas, además de indicar la calidad de la madera como material de construcción o para la industria mueblera. La DM es una de las características de mayor importancia de la madera. Por lo que, el objetivo del presente estudio fue determinar la variación de la DM entre árboles y en el perfil interno de *Pinus montezumae* Lamb. de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

Se utilizaron muestras de cuatro árboles de cada uno de ellos, se obtuvieron rodajas a distancias de cortes comerciales (2.5 m) a partir de 0.3 m, hasta alcanzar la altura máxima que fue de 34.55 m dando un total de 11 alturas de corte; de cada rodaja se extrajo una faja de 5 cm de ancho que pasó por la médula, la cual fue lijada y seccionada en ciclos de crecimiento de cada cinco anillos presentándose como mayor el ciclo de 55; dando un total de 593 secciones. A cada una de ellas se le determinó su densidad por medio del método del máximo contenido de humedad. Se realizó un análisis de varianza y de componentes de varianza, mediante el modelo de efectos aleatorios con clasificación jerárquica o anidada.

El promedio general en DM obtenido fue de 0.395 g cm^{-3} , clasificándose como madera moderadamente liviana. Se encontraron diferencias estadísticas altamente significativas entre árboles, entre alturas de corte y entre secciones. Las diferencias entre secciones es la mayor fuente de variación (35 %), siguiéndole diferencias entre alturas de corte (21 %) y en menor medida las diferencias entre árboles (1.8 %).

La DM disminuye en dirección acropétala (de la base al ápice). En el plano horizontal la DM aumenta de la médula hacia la corteza. Los resultados permiten la posibilidad de seleccionar árboles por su DM en programas de mejoramiento genético. Asimismo, es posible hacer diferenciación de trozas para obtener madera con diferente DM y por tanto de diferente calidad.

PALABRAS CLAVE: *Pinus montezumae*, variación, densidad de la madera

I INTRODUCCIÓN

Dentro de las grandes riquezas naturales de México, las coníferas son de gran interés comercial, ya que son la principal fuente de madera para el comercio nacional; su demanda, su facilidad de aprovechamiento y su rápido crecimiento las hace aun más importantes en el estudio de sus características (SEMARNAT_PROCYMAF, s. f.).

La madera es uno de los materiales más importantes que existen en la naturaleza, por poseer una gran variedad de propiedades que otros materiales no reúnen simultáneamente, como son: su alta resistencia mecánica a los impactos, a la flexión, a la compresión y a la abrasión, así como una gran elasticidad, capacidad de aislamiento térmico y eléctrico, además de valiosas propiedades acústicas y excepcional facilidad de ser trabajada (Vázquez y Noveno, 1994). Por lo tanto, estudiar sus propiedades físico-mecánicas puede ayudar a determinar la calidad de los productos obtenidos de estas especies, en específico la madera.

Pinus montezumae Lamb. se encuentra ampliamente distribuido y adaptado en el estado de Michoacán además de ser una las especies de mayor interés comercial y más productivas con rendimientos que varían entre 5 y 10 m³ ha⁻¹ año⁻¹, con turnos bajo reproducción natural entre 50 y 60 años; obteniéndose diferentes productos y subproductos que van desde medicinales y combustibles, hasta los más importantes que son extracción de resinas, madera en escuadría, en rollo y celulosa (SEMARNAT_PROCYMAF, s.f).

La densidad de la madera es una de las características más importantes dentro de las propiedades de la madera, ya que determina su resistencia al rompimiento, la calidad de la pulpa para papel, el rendimiento en la producción de unidades caloríficas y es de alta heredabilidad, por lo que han hecho que la implementación de programas de mejoramiento genético forestal ya sea para producir fibras o productos sólidos de madera, la incluyan como característica de importancia económica (Hocker, 1984; Zobel y Talbert, 1988).

Con esto se lograría identificar, seleccionar y propagar los individuos con las mejores características fenotípicas y genotípicas para obtener algún producto en particular, que sea de interés económico o ecológico.

Objetivos e hipótesis

1.1 Objetivos

Los objetivos del presente trabajo fueron:

- a) Estimar el valor promedio de la densidad de la madera de *Pinus montezumae* de la comunidad indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.
- b) Conocer la variación en densidad de la madera el perfil interno de árboles de *Pinus montezumae* de la comunidad indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

La hipótesis nula propuesta para este trabajo es la siguiente:

- Ho: No existen diferencias entre árboles, entre diferentes alturas de corte en el fuste dentro de árboles, y entre secciones o ciclos de crecimiento, en *Pinus montezumae* de la comunidad indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Variación

Zobel y Talbert (1988) mencionan que la variación es una forma de entender las diferencias que puedan existir entre especies, dentro de una especie, e incluso en individuos y dentro de ellos mismos. Además de permitir que los árboles sobrevivan, crezcan y se reproduzcan en las diferentes condiciones y diversos ambientes que prevalecen durante una o varias generaciones. Por lo tanto, la variación de las especies forestales se considera como una ventaja para manipular las características de mayor interés en un programa de manejo genético. Algunos niveles de variación son los siguientes:

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 la densidad de la madera de *Pinus engelmannii* Carr. en Chihuahua, se encontraron diferencias entre regiones de la Sierra Tarahumara (Tzab, 2002), por otro lado para *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. no se encontraron diferencias entre regiones en los estados de Veracruz y Oaxaca (Yáñez y Caballero, 1991).

Variación entre sitios. La variación entre sitios suele mostrar pequeñas diferencias en densidad de la madera, pero significativas. Esta variación en densidad de la madera puede verse influenciada por la altitud y la latitud en que se encuentran los árboles, ya 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, pero son atribuidas al ambiente. Un ejemplo son los árboles en forma de arbusto que crecen en dunas cerca del mar, donde soplan constantemente los vientos, pueden crecer normalmente cuando se plantan tierras adentro (Zobel y Talbert, 1988).

Variación entre rodales dentro de sitios. Estas diferencias son principalmente ocasionadas por la mano del hombre (selección disgénica). Zobel y Talbert (1988) mencionan que es común encontrar rodales de árboles con fustes rectos creciendo cerca de rodales de árboles torcidos, donde las causas de esta diferencia han sido las cortas que se realizaron para obtener postes o pilotes y que solo dejaron árboles torcidos como progenitores en los rodales explotados.

Variación entre árboles. Los árboles que se encuentran dentro de un rodal poseen diferentes características entre sí y dichas características suelen estar controladas genéticamente. Un ejemplo es la variación en densidad de la madera que se encontró en *Pinus rudis* Endl., del mismo sitio y de edades muy parecidas (López, 1997).

Variación dentro del mismo árbol. Conocer la variación dentro del árbol puede ayudar a decidir si el volumen o peso seco de la madera debe optimizarse en una operación forestal. Algunas de las características que pueden variar dentro de un árbol son por lo regular peso específico y longitud de traquiedas (Yáñez y Caballero, 1991). Un ejemplo de este tipo de variación se presenta en *Pinus strobus* var *chiapensis* Mtz donde se encontró que la densidad de la madera en el árbol presenta variaciones según las diferentes secciones de crecimiento; dentro del fuste generalmente aumenta de la médula hacia la periferia y disminuye de la base hacia la parte superior, esto ejemplifica claramente la variación de la densidad de la madera dentro del árbol (Yáñez y Caballero, 1991).

2.1.1 Causas de la variación de la madera

Los principales factores que causan variación en la densidad de la madera son: la forma del árbol, las combinaciones genéticas, las variaciones durante el crecimiento, ambientes inestables o cambiantes, la latitud y la altitud (Zobel y Talbert, 1988). Como fue el caso de *Pinus patula* Schl. et Cham. donde se encontró que a mayor altitud la densidad de la madera disminuye (Mandracho, 1984). Mientras que para *Pinus taeda*

Marion. la densidad de la madera aumentó cuando se presentó un aumento de la precipitación (Van Buijtenen, 1963).

2.1.2 Formación de la madera

La celulosa, hemicelulosa y lignina son tres polímeros que forman la madera. La madera se forma al iniciarse la división celular del cambium, creando nuevas paredes en la célula. Durante esta fase la pared celular se vuelve más espesa. La celulosa y la hemicelulosa se sintetizan creando la pared celular secundaria. La lignina hace su aparición 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). En las coníferas este proceso se da una vez que las condiciones ambientales dejan de ser limitantes para dar paso a la activación de los meristemos apicales y cámbiales que dan origen a la formación de la madera (Hocker, 1984).

2.1.3 Tipos de madera

Los ciclos de crecimiento se encuentran formados por dos anillos, uno claro y otro oscuro, llamados madera temprana y madera tardía respectivamente. La madera temprana se forma a inicios del año, y generalmente es de color café claro, diferenciándose de la madera tardía que presenta un color café oscuro a negro y que, además posee una pared celular más gruesa, con menor lumen, por lo tanto, con mayor densidad de la madera (Hocker, 1984; Zobel y Talbert 1988).

Madera juvenil se forma cerca de la médula del árbol, sin importar la madurez de éste (Zobel y Talbert, 1988). Esta caracterizada por ser una madera de baja densidad, debido al bajo porcentaje de madera tardía presente en ella, además de presentar bajo contenido de celulosa, traqueidas más cortas, bajo contenido de celulosa, poca resistencia y elevada contracción, a su vez la madera madura se encuentra rodeando a

la madera juvenil dentro del interior del árbol, se diferencia de la madera juvenil por poseer un peso específico más alto, traqueidas más largas, pared celular más gruesa y mayor proporción de celulosa encontrándose la mayor proporción de esta en la base del árbol (Daniel *et al.*, 1982).

2.2 Densidad de la madera

El término densidad de la madera es utilizado para expresar la relación entre el peso de la madera en relación con su volumen, expresado en g cm^{-3} y está estrechamente correlacionada con la cantidad de madera de verano, tamaño de las células y el grosor de la pared celular (Zobel y Talbert, 1988).

Es importante entender la diferencia que existe entre densidad de la madera y peso específico, términos que se prestan a confusión muy a menudo, y los cuales son diferentes formas de expresar que cantidad de sustancia de la madera está presente. El peso específico es la relación del peso de un volumen dado de madera respecto al peso de un volumen igual de agua y carece de unidades, mientras que la densidad es la relación del peso entre el volumen y puede expresarse en kg m^{-3} ó lb pie^{-3} (Zobel y Talbert, 1988).

2.2.1 Importancia de la densidad de la madera

La importancia de la densidad de la madera se debe a que determina el uso posterior que va a tener la madera de acuerdo a la cantidad de celulosa, su fuerza, su resistencia y sus cualidades mecánicas (Hocker, 1984). Para el caso del uso industrial de la madera, la importancia de la densidad radica en el número de toneladas de fibra producidas por árbol por año o bien kilogramos de pulpa producida por árbol por año en relación al volumen del árbol (Wright, 1991). Además de ser la característica más estudiada dentro de las especies forestales, debido a su importancia económica, puesto que es un importante indicador en el cual se puede apreciar la calidad de la madera como material de construcción (Zobel y Talbert, 1988).

De la densidad dependen la mayor parte de las cualidades de la madera, mayormente rigidez y fuerza, y es el indicador de éstas. Por ejemplo; algunas maderas densas poseen un lumen muy pequeño y no contienen mucha agua por lo que ésta al emigrar a través de las cavidades intercelulares lo hace muy lentamente provocando un agrietamiento en el momento de clavar la madera (Young, 1991).

La densidad de la madera también es importante al estimar la productividad de un bosque o rodal, ya que tradicionalmente se evalúa con base al incremento en volumen de madera, medida que hasta cierto grado resulta imprecisa debido a la variación en el contenido de humedad y en el grosor de las paredes celulares, por lo que es más apropiado determinar la biomasa, donde el volumen se le incorpora al valor de la densidad de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

2.2.2 Estimación de la densidad de la madera

Para llevar a cabo la estimación de la densidad de la madera, se conocen varios métodos, cada uno de ellos con sus ventajas y desventajas, estos van desde los más prácticos como lo es el uso del Pilodyn (Gogfrey y Garthwaite, 1984), hasta los más precisos como el uso de los rayos X (Jozsa y Britx, 1989), además de otros diversos, como el método de desplazamiento de agua (Kollman, 1959), el método de desplazamiento de mercurio (Yáñez y Caballero, 1991), el método del máximo contenido de humedad (Smith, 1954) y el método empírico (Valencia y Vargas, 1997), entre otros. En este estudio se utilizó el método del máximo contenido de humedad, pues se consideró adecuado para el tipo de muestras con las que se trabajó (secciones), ya que algunos de estos métodos son confiables en muestras obtenidas con taladro de Pressler, y algunos otros necesitan equipo sofisticado de laboratorio como en caso del método de rayos X.

Algunos de estos métodos se reportan en trabajos realizados en especies forestales, como es el caso de el Pilodyn el cual es un instrumento que estima la densidad de la madera, su función depende de un resorte mecánico que impulsa un punzón que penetra la madera sin corteza donde la penetración está relacionada inversamente con la densidad medida convencionalmente y las medidas de penetración del Pilodyn en la madera del árbol; por lo que a menor penetración mayor densidad poseerá la madera; como en el caso de *Eucalyptus nitens* donde fue empleado este método (Greaves *et al.*, 1996), la ventaja de emplear este método es el de obtener el resultado inmediatamente en campo.

El método de desplazamiento de mercurio es menos común y consiste en saturar totalmente las virutas en agua destilada estimando posteriormente su volumen en un volunómetro de mercurio Amsler. Después las muestras son colocadas en una estufa de secado a 100 °C, con oscilación de 5 °C para obtener el peso anhidro constante y de esta forma es obtenida la densidad de la madera (Kollman, 1959).

El método empírico consiste en que la muestra de madera se considera como un cilindro perfecto y es usado para calcular la densidad de la madera en muestras pequeñas obtenidas con un taladro de Pressler, lo cual representa una limitante. En primer lugar se mide la longitud de la muestra con una regla graduada 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, colocando la muestra en una estufa de secado (105-110°C) y después calcular la densidad de la madera mediante la siguiente fórmula (Valencia y Vargas, 1997).

$$D_b = \frac{P_o}{V_v}$$

D_b = Densidad básica de la madera (g cm^{-3})

P_o = Peso anhidro de las muestras (g)

V_v = Volumen verde de las muestras (cm^{-3})

Método de desplazamiento de agua. El procedimiento de este método consiste en colocar las muestras en agua hasta que se saturan (cuando alcancen el peso constante); después se obtiene el volumen por desplazamiento de agua, el cual se obtiene colocando un recipiente con agua sobre una balanza analítica (con precisión de 0.0001 g); para enseguida introducir las muestras sin que toquen las paredes ni el fondo del recipiente, de este modo se obtiene el peso del agua desplazada misma que corresponde al volumen de la muestra (V_v) considerando la densidad del agua como unidad. Para después secarlas en una estufa de secado para obtener la densidad de la madera por medio de la misma fórmula que se emplea en el método empírico (Kollman, 1959), sin embargo es poco preciso en la estimación del volumen en muestras pequeñas.

Método de máximo contenido de humedad. Este método tiene la ventaja de ser bastante preciso en muestras pequeñas, pero a si mismo la desventaja de un largo periodo para obtener el máximo punto de saturación de humedad de las muestras, (Smith, 1954). Para este método las muestras son colocadas en un recipiente con agua para posteriormente colocarlas en una cámara de vacío, para lograr una penetración total del agua en las muestras. Una vez saturadas las muestras se pesan en una balanza analítica eliminando primero el exceso de humedad, de este modo se obtiene el peso saturado (P_s). Después se secan las muestras en una estufa de secado a la misma temperatura que se usa en los demás métodos. Para finalizar se aplica la formula del método de máximo contenido de humedad (Smith 1954 ; López y Valencia, 1997).

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

Donde:

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

Ps = Peso saturado (g)

Po = Peso anhidro (g)

1.53= Constante (gravedad específica de la madera sólida)

2.3 *Pinus montezumae*

Fue clasificado por vez primera en 1817 como *Pinus occidentalis* y en 1832, reclasificado por Lambert, con el nombre que actualmente se le conoce. Es ubicado taxonómicamente en el subgénero *diploxylon* o de los pinos duros, en la sección *montezumae* y en el grupo del mismo nombre (Rodríguez, 1997).

Son árboles robustos, de gran tamaño con alturas que varían de 30 a 40 m, con copa irregular y redondeada; hojas de vaina persistente en número de 5, en ocasiones de 4 a 7 y de 14 a 25 cm de longitud, usualmente anchas y dentadas en el borde, con un color verde oscuro; brotes uninodales, de color café y de superficie muy rugosa; yemas largas, ovoides de color café-rojizo y resinosas; los conos se presentan de 1 a 3 por grupo, deciduos, abiertos en la madurez, suavemente oblicuos y curvados, en forma ovoide o cónica y generalmente van de 9 a 15 cm de longitud; las semillas por lo general van de 6 a 7 mm de longitud, con una ala oscura de 20 mm de longitud y 7 mm de ancho (Rodríguez, 1997).

Los nombres comunes con los cuales es conocido son: pino, ocote, pino montezuma, chalmaite blanco (Veracruz) y pino real (Oaxaca). No se le encuentra bajo ningún estatus de conservación y algunas de las sinonimias con que se le conoce son: *Pinus ocampii* Roezl, *Pinus rinzii* Roezl, *Pinus lindleyana* Lound. Ex Lind et Gordon, *Pinus montezumae* forma *macrocarpa* Martinez, y *Pinus montezumae* var. *mezambranus* Carvajal (CONAFOR_PRONARE, s. f.).

2.3.1 Distribución

Pinus montezumae es nativo de México y se le encuentra hasta Guatemala. Desde los 16° 50' a los 25° 20' de latitud norte y de los 92° 15' a los 105° 10' de longitud oeste (CONAFOR_PRONARE, s. f.).

En México se encuentra en las principales sierras del país, siendo reportado en los estados de Coahuila, Colima, Chiapas, Distrito Federal, Guerrero, Hidalgo, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Nuevo León, Oaxaca, Puebla, Querétaro, Tamaulipas, Veracruz y Zacatecas. En Michoacán, ha sido reportado en los municipios de Charo, Erogáricuaro, Los Reyes, Maravatío, Morelia, Nahuatzen, Paracho, Pátzcuaro, Quiroga, Tancítaro, Tingambato, Zinapécuaro y Zacapu (Amezcuca y Ángeles, 2003.)

Michoacán cuenta con una superficie total de 59,864 km² y *Pinus montezumae* se le puede encontrar muy bien representado en las 1 540 493 ha de bosques de coníferas y latifoliadas que posee las cuales representan un gran potencial para su manejo (SEMARNAP, 1999).

2.3.2 Ecología

Para la región central de México el clima donde prospera esta especie son los templados subhúmedos con ocurrencia de precipitaciones de mayo a octubre, con un régimen de precipitación promedio anual de 1000 a 1200 mm; y a una temperatura media de 22 °C en el mes de mayo y una mínima promedio de -5 °C en el mes de diciembre. Así mismo en los lugares donde se distribuye la especie las heladas son muy frecuentes, teniéndose en promedio hasta 100 días con presencia de las mismas en los meses mas fríos de de noviembre a febrero (Rodríguez, 1997).

Su presencia con respecto a altitud se le ha reportado en rangos altitudinales que varían desde los 1150 a 3350 msnm, lo cual indica la gran diversidad de condiciones en las cuales puede prosperar esta especie (Rodríguez, 1997).

Se le puede encontrar en rodales puros o mezclados, cuando se le haya mezclado es común encontrarlo asociado con *Pinus leiophylla* Schl. & Cham., *Pinus rudis* Endl., *Pinus pseudostrobus* Lindl., *Pinus teocote* Schiede ex Schltdl., *Pinus michoacana* Mart., *Pinus ayacahuite* Ehren., *Pinus ayacahuite* var. *Veitchii* (Roezl) G.R. Shaw 1909, *Pinus hartwegii* Lindl., *Abies religiosa* (HBK) Schl. et Cham. y latifoliadas de los géneros *Quercus*, *Arbutus* y *Alnus* entre de otros (Rodríguez, 1997).

Pinus montezumae puede desarrollarse en suelos de tipo andosol, principalmente para Michoacán, Morelos y Jalisco; y de origen volcánico, ricos en nitrógeno, calcio y potasio, ubicados en las mesetas altas y pendientes bajas de de las montañas, que son los sitios donde se encuentran los mejores ejemplares; la profundidad de estos suelos varía de moderadamente profundos a profundos; de textura migajón- arenosa, arenosa, areno-limosa; en suelos no pedregosos y bien drenados; con un pH que va de 5 a 7; además de ser ricos en materia orgánica; y con fertilidad de media a alta (CONAFOR_PRONARE, s. f.).

2.3.3 Importancia económica

La importancia económica de *Pinus montezumae* radica en la extracción de resina, actividad que se ha venido practicando desde la época precortesiana, por los náhuatl, toltecas y mayas; que utilizaban como pegamento y como material combustible para las antorchas, además de usos religiosos y domésticos. Durante la colonia su principal uso fue como combustible para alumbrar las mansiones coloniales (Mas y Prado, 1975).

En la actualidad los principales usos que tiene son: fabricación de ceras, pinturas, jabones, adhesivos, productos farmacéuticos, brea y aguarrás (Mas y Prado, 1975). Otro producto que se obtiene de *Pinus montezumae* es la madera, la cual es empleada

para diferentes fines, como para construcciones pesadas y livianas, cajas de empaque, cofres, estacas, leña, carbón, pulpa de fibra larga, chapa, contrachapa, triplay, para la industria mueblera, duela y marcos para cuadro. Aunque es considerada como no durable, fácilmente manejable, y sin problemas de secado (García, 1996).

III METODOLOGÍA

3.1 Área de estudio

3.1.1 Localización

El área de estudio denominada Comunidad indígena Santa Ana de Gerahúaro, municipio de Zinapécuaro, Mich., se encuentra ubicada en la provincia del Eje Neovolcánico, entre las coordenadas geográficas 100° 39' 20" a 100° 32' 15" de longitud oeste, y 19° 50' 25" a 19° 50' 30" de latitud norte como se puede apreciar en la figura 1 (CETENAL, 1977a).

3.1.2 Orografía

Las alturas que predominan en esta zona van de los 2500 a los 2600 msnm, así como pendientes que van del 5 al 40 por ciento. En esta área predominan las exposiciones sur y sureste muy caracterizadas por la presencia de lomeríos y sierras (CETENAL, 1977b).

3.1.3 Geología

En el área predominan las rocas ígneas de andesita del terciario superior, ígneas de basalto; además de las sedimentarias de las cuales se pueden identificar las sedimentarias de arenisca del terciario superior así como sedimentarias de travertino; predominando una estructura de asociaciones entre éstas (CETENAL, 1977b).

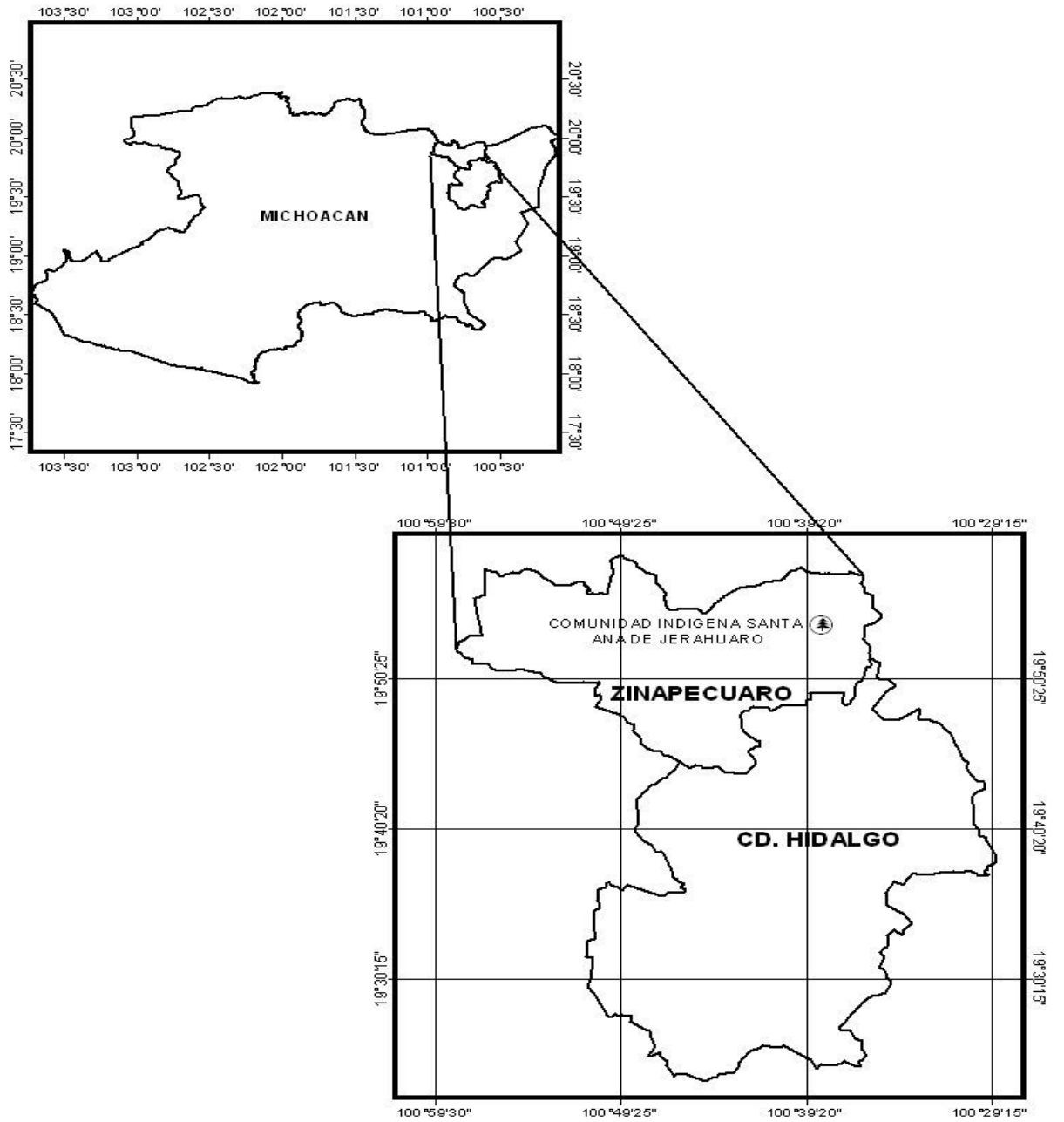


Figura 1. Ubicación de la comunidad indígena Santa Ana de Gerahúaro, municipio de Zinapécuaro, Mich.

3.1.4 Clima

En la localidad se presenta una temperatura media anual de 12.2°C, con valores medios de máxima anual de 31°C y mínima de 3.2°C, y una precipitación media anual de 1,263.3 mm, así como un periodo libre de heladas de 180 días con la siguiente fórmula climática: C (w₂) w i (García, 1973), la cual se puede describir de la siguiente manera:

C (w₂) = Grupo de climas templado húmedos (temperatura media del mes más frío entre - 3 y 18°C y la del mes más caliente > 6.5 °C)

w = Régimen de lluvias: por lo menos 10 veces mayor cantidad de lluvia en el mes más húmedo de la mitad caliente del año que en el más seco, un porcentaje de lluvia invernal entre 5 y 10.2 de la total anual.

i = isotermal, oscilación < 5 °C

3.1.5 Suelos

Los suelos que se pueden encontrar en esta área son de tipo andosol húmicos, ócricos con textura media así, como luvisoles crómicos de textura media en los 30 cm superficiales del suelo, en su fase física lítica profunda (CETENAL, 1977b).

3.1.6 Vegetación

La vegetación del área corresponde a un bosque de clima templado compuesto por: *Pinus herrerae* Mart., *P. pseudostrobus* Lind., *P. montezumae* Lamb., *P. michoacana* Mart., *P. leiophylla* Schl. & Champ. *Abies religiosa* Schl., *Quercus castanea* Neè., *Q. crassifolia* Humb. et Bompl., *Q. obtusa*, *Q. microphylla* Neè, *Q. laurina* Humb. & Bonpl., *alnus firmifolia* Fern., *A arguta* Spach., *Crataegus mexicana* Moc. & Sessè, y *Arbutus xalapensis* H.B.K. La cubierta arbustiva la conforman especies como *Terpstroemia pringlei*, *Baccharis conferta* H. B. K., *Dodonaea Viscosa* (L) Jacq., *Urtica dioica* Willd, *Arctostaphylos longifolia*, *Rubus pringlei*, *Solanum nigrum* L., *Eupatorium glabratum* H.

B. K. y *Buddleia sessiliflora* H.B.K. El estrato herbáceo se encuentra constituido por algunos ejemplares como *Alchemilla procumbens* Rose, *Arenaria lanuginosa* Rohrb., *Eryngium palmeri*, *Geranium seemanni* Peyr., *Muhlebergia robusta* (Fourn.) Hitch., *Oxalis alpina* Rose, *Panicum bulbosum* H.B.K. y *Stipa virens* H.B.K (Franco, 2001).

3.2 Trabajo de campo

Este trabajo se deriva de la investigación realizada por Pereyra (2003) que se realizó en la misma zona, con el fin de determinar el índice de sitio en la misma especie, para lo cual dicho autor describe el siguiente procedimiento de campo. Se realizaron tres recorridos de campo con el fin de conocer y recorrer el área de estudio e identificar la especie en cuestión además de otros aspectos de interés como productividad de las áreas, áreas de aprovechamiento en las que se pudiera aprovechar el derribo de árboles para obtener las rodajas; esta actividad se realizó en compañía de los integrantes de la Unidad Forestal No 2 Hidalgo-Zinapécuaro, promotores de este estudio.

3.2.1 Selección de árboles

En la región es muy común la práctica de la resinación por lo que en la selección de los árboles se llevó a cabo de la siguiente manera: se eligieron los árboles dominantes bien conformados, no resinados, sanos, vigorosos y sin competencia de otros árboles adultos, que se encontraban en las áreas de aprovechamiento.

3.2.2 Obtención e identificación de las muestras

Seleccionados los árboles se escogieron los cuatro mejores con las características ya mencionados, para lo cual se derribaron a la altura de entre .30 m y .35 m con la ayuda de una motosierra y se les extrajo un rodaja a longitudes de troza de 2.54 m o medida comercial en esta región; de estas se obtuvo un total de 17 alturas de corte y como no

todas estas estuvieron presentes en cada uno de los arboles se promediaron los valores presentes en cada altura igual (Cuadro 1).

Cuadro 1. Alturas de corte de los 4 árboles que se emplearon en el estudio

Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4	Media	Altura de Corte
	0.30			0.30	1
2.93	2.85	2.80	2.91	2.87	2
	5.1	5.30	5.46	5.29	3
8.03	7.65	7.90	8.01	7.90	4
10.50	10.20	10.45	10.56	10.43	5
13.13	12.75	13.00	13.11	13.00	6
15.68	15.30	15.75	15.66	15.60	7
18.20	17.85	18.10	16.88	17.76	8
20.78	20.30	20.60	19.41	20.27	9
23.30	22.85	23.20	21.90	22.81	10
	24.70	24.45	24.51	24.55	11
25.88	24.95	25.27		25.37	12
	27.20		27.06	27.13	13
28.43	28.20	28.25		28.29	14
29	29.30	30.08	29.61	29.50	15
		31.80		31.80	16
		34.55		34.55	17

Se observó que las rodajas no presentaran nudos, resinaciones u alguna otra anomalía que dificultara el conteo de anillos y por tanto la determinación de la densidad de la madera, para lo cual se les identificó con una clave que corresponde a la localidad, número de árbol y altura de corte.

Las muestras obtenidas se trasladaron al Laboratorio del Departamento Forestal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para someterlas a un proceso de secado y pulido, que permitiera observar y contar mejor los anillos de crecimiento, y así delimitar los ciclos o secciones de cinco anillos, previo descortezado de de las rodajas.

3.2.3 Seccionado

Una vez terminados los pasos anteriores, de cada rodaja se obtuvo una faja que pasó por el centro o médula de la rodaja de extremo a extremo contabilizándose y marcando

ciclos de crecimiento del centro hacia afuera cada cinco anillos, después se seccionaron e identificaron cada fracción de igual forma del centro hacia fuera de la tira anotando en su costado localidad, número de árbol, altura de corte y número de sección. Por ejemplo:

Gr 2; A 2. 80

Donde:

Gr= Gerahúaro

2= árbol número dos

A = mitad de la tira extraída de la rodaja; B para el lado opuesto.

2. 80 = altura de corte.

3.2.4 Saturación y pesado de las muestras

Una vez seccionadas las fajas cada cinco anillos todas las muestras fueron colocadas en recipientes de plástico llenos de agua donde se sumergieron perfectamente y ahí permanecieron hasta alcanzar el punto de saturación, (aproximadamente 80 días). Para determinar el peso constante se realizó un muestreo pesando algunas de las muestras al azar; primero a intervalos de ocho días y acortándolos a tres días y por último diariamente; según fueron arrojados los resultados, hasta que se obtuvo el peso constante; para esto se utilizó una balanza analítica con precisión de 0.0001 gramos, marca AND HR200, con capacidad máxima de 210 gr. El pesado se llevo a cabo en el Laboratorio de Apoyo a la Investigación, del Departamento de Ciencias Básicas.

3.2.5 Secado y pesado de las muestras

Una vez que las muestras alcanzaron el peso saturado, se les retiro el agua para eliminar el exceso de humedad. Por una semana estuvieron expuestas al ambiente y posteriormente fueron colocadas en una estufa de secado a una temperatura de 105 ± 5 a 10°C para eliminar totalmente el agua y así obtener el peso anhidro, previamente se les hicieron moldes de aluminio para que las muestras no se incendiaron al momento de

colocarlas dentro de la estufa. Se llevo un proceso de muestreo semejante de pesadas al de peso saturado con la misma balanza y precisión, hasta obtener el peso anhidro constante; determinándose que debían permanecer 72 horas en la estufa para alcanzar el peso anhidro constante.

3.2.6 Determinación de la densidad de la madera

Una vez obtenidas estas dos variables peso saturado y peso anhidro se realizó la estimación de la densidad de la madera para cada sección, empleando la fórmula del método del máximo contenido de humedad (Smith, 1954).

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

Donde:

DM = Densidad de la madera (g cm⁻³)

Ps = Peso saturado (g)

Po = Peso anhidro (g)

1.53= Constante (gravedad especifica de la madera sólida)

3.3 Análisis estadístico

Una vez estimada la densidad de la madera de cada muestra se procedió a realizar un análisis de varianza de efectos aleatorios para muestras de clasificación jerárquica o anidada, obtenidas en muestreos de poblaciones normales (Steel y Torrie, 1980).

El modelo estadístico utilizado para el análisis de varianza de la densidad de la madera se presenta a continuación.

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + HC_{i(j)} + S_{i(jk)} + E_{i(jkl)}$$

Donde:

- Y_{ijkl} = valor de la variable (densidad de la madera)
 μ = efecto de la media de la característica en estudio
 A_i = efecto debido al i-ésimo árbol
 $HC_i(j)$ = efecto debido a la j-ésima altura de corte dentro del i-ésimo árbol
 $S_{i(jk)}$ = efecto debido a la k-ésima sección dentro de la j-ésima altura de corte del i-ésimo árbol
 $E_{i(jkl)}$ = efecto debido al error aleatorio (diferencias entre secciones A y B)
i = 1,2,3.....a (número de árboles)
j = 1,2,3.....b (número de alturas de corte)
k = 1,2,3.....c (número de secciones)
l = 1,2,3.....n (número de observaciones)

Así mismo se realizó un análisis de componentes de varianza considerando el mismo modelo estadístico (Cuadro 2).

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados del análisis de varianza para variación en densidad de la madera de *Pinus montezumae* Lamb. de Gerahúaro, Mich.

F.V	Gl	C M	Esperanza de los cuadrados medios
A	a-1	CM arb	$\sigma^2 e + k_3 \sigma^2 c (a, b) + k_5 b(a) + k_6 \sigma^2 a$
HC	a(b-1)	CM hc	$\sigma^2 e + k_2 \sigma^2 c (a,b) + k_4 \sigma^2 b(a)$
S	ab(c-1)	CM sec	$\sigma^2 e + k_1 \sigma^2 c (a,b)$
E	abc(d-1)	CM Error	$\sigma^2 e$

F.V= Fuentes de variación, g.l.= Grados de libertad, A= árboles, HC= alturas de corte dentro de árboles, S = secciones, E= Error, $\sigma^2 a$, varianza entre árboles, $\sigma^2 e$ = Varianza del error, $\sigma^2 b(a)$ = varianza entre alturas de corte; $\sigma^2 c (a,b)$ = varianza entre secciones, CM= cuadrado medio, CM arb= cuadrado medio de los árboles, CM hc= cuadrado medio de alturas de corte dentro de árboles, CM sec= cuadrado medio de secciones dentro de alturas de corte dentro de árboles, a= numero de arboles, b= número de alturas de corte, c= número de secciones, d= número de lados, K_1, \dots, K_6 = Coeficientes asociados a los componentes de varianza.

3.3.1 Método y procesamiento de análisis

Para el procesamiento de los datos se hizo una base de datos en Excel, con las observaciones medidas, que consistió en: número de árbol, número de altura de corte, sección, peso saturado, peso anhidro, densidad de la madera y observaciones; para después ser procesada con el programa SAS (Statistical Analysis System). La densidad de la madera de las muestras se calculó con base a los datos de peso saturado y peso anhidro, se descartaron diez secciones que presentaban valores extremos, las cuales fueron verificadas físicamente, por ejemplo dos presentaban nudos, el resto (ocho secciones) fueron nuevamente sometidas al proceso de obtención de peso anhidro de las cuales cuatro arrojaron una densidad más cercana a la media, diferente al resultado que tenían antes, el resto (cuatro secciones) obtuvieron su misma densidad y se decidió incluirlas.

Posteriormente, se obtuvieron las medidas de tendencia central y de dispersión; se llevo a cabo el análisis de varianza así como el de componentes de varianza para determinar las diferencias entre árboles, entre alturas de corte dentro de árboles y diferencias entre secciones dentro de alturas de corte dentro de árboles, tomando en cuenta como repeticiones el lado A y B (Figura 2).

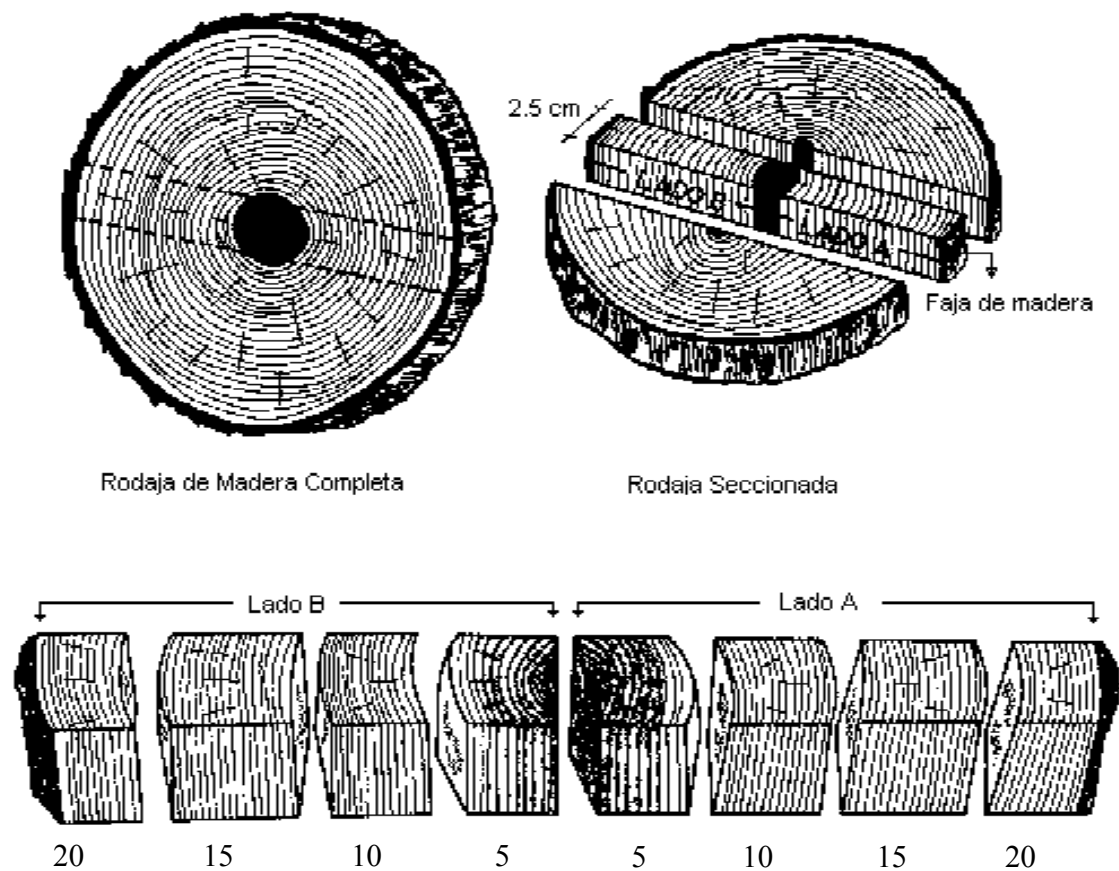


Figura 2. Marcado y seccionado de las muestras de madera empleadas en este estudio

Para el cálculo de los efectos de interés, se les sumó las cantidades de los componentes de varianza estimados, posteriormente se dividió cada componente de la fuente de variación entre la suma total de éstos, multiplicándolo por 100 para obtenerlo en porciento.

Para una mejor interpretación de los resultados, se realizó un perfil interno del árbol con la variación de la densidad de la madera de *Pinus montezumae*, considerando 17 alturas de corte y secciones o ciclos de crecimiento que van de 5 en 5 ciclos o anillos de crecimiento, hasta 55 que fue el más alto que se registró, en este estudio.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

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

El valor promedio de la densidad de la madera encontrado para los cuatro árboles analizados de *Pinus montezumae* fue de 0.3952 g cm⁻³, presentando un valor mínimo de 0.2329 g cm⁻³ y un máximo de 0.6171 g cm⁻³, valores que fueron obtenidos de 593 muestras de madera (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medidas de tendencia central y de dispersión para la densidad de la madera en cuatro árboles de *Pinus montezumae* Lamb. de Santa Ana de Gerahúaro, Mich.

Variable	N	Valor			S	C.V. (%)
		mínimo	medio	máximo		
D.M.	593	0.2329	0.3952	0.6172	0.0544	13.7625
		g cm ⁻³	g cm ⁻³	g cm ⁻³	g cm ⁻³	

D.M.= Densidad de la madera; N= Número de observaciones; S = Desviación estándar de la media; C.V.= Coeficiente de variación expresado en porcentaje.

De acuerdo a el valor medio de la densidad de la madera obtenido (0.3952 g cm⁻³), a la clasificación que desarrollo Markward Heck (Echenique y Díaz 1969), corresponde a una madera moderadamente liviana, (Cuadro 3). Por lo que, los usos que tiene son adecuados, ya que de los usos que reporta García (1996) no corresponden a actividades que requieran alta resistencia de la madera, por lo que puede ser empleada para construcciones livianas, cajas de empaque, cofres, estacas, leña, carbón, pulpa de fibra larga, chapa, contrachapa, triplay, para la industria mueblera, duela y marcos para cuadro (Apéndice 1).

Con respecto a otros estudios el valor promedio obtenido en este estudio de 0.3952 g cm^{-3} , es mayor al obtenido por Yáñez y Caballero (1991) de 0.35 g cm^{-3} , en un estudio de densidad relativa y longitud de traqueidas de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz de tres localidades de los estados de Veracruz, Oaxaca y Chiapas, que se realizó con la finalidad de recabar información preliminar sobre los patrones de variación de la densidad de la madera, y longitud de traqueidas, que aportaran bases para el estudio de la especie en su área de distribución natural. Así mismo, este valor resulta mayor al encontrado por Valencia (1994) que fue de 0.34 g cm^{-3} , en *Pinus patula* realizado con muestras tomadas a 40 cm de altura, en una prueba de progenie de 6 años de edad, aunque se atribuye esta densidad a la poca edad del árbol, pues se reporta una densidad en árboles adultos de 0.48 g cm^{-3} (García, 1984).

De igual forma, Zamora y Mendizábal (2004) en una prueba de procedencias de *Pinus caribea* Morelet. var *hondurensis* Barr. y Golf. de cinco procedencias de Honduras, probadas en la región de los Tuxtlas, Veracruz, establecida en 1992 donde el análisis se llevó a cabo en 2003 cuando la plantación tenía 11 años; las muestras fueron tomadas a 1.30 m, a un total de 272 árboles. La densidad promedio obtenida fue 0.3830 g cm^{-3} , de igual forma justificado este valor por la poca edad del arbolado.

El valor de densidad de la madera de 0.3952 g cm^{-3} , reportado en este estudio es muy parecido al obtenido por López (2004) en un estudio de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de Nuevo León, donde se analizaron 23 poblaciones con el propósito de determinar la variación de la densidad de la madera entre poblaciones, entre árboles dentro de poblaciones y dentro del árbol a diferentes alturas de corte, seleccionándose de cuatro a seis árboles por localidad que tuvieran una altura mayor o igual a 1.30 m y menor de 4 metros; de estos se obtuvieron rodajas a 0.30 m y las siguientes a cada 50 cm, de distancia hasta llegar al ápice. Las rodajas se partieron a la mitad dando un total de 160 muestras a las cuales se les determinó la densidad de la madera mediante el método del máximo contenido de humedad obteniendo una densidad de la madera promedio de 0.397 g cm^{-3} , cabe aclarar desde luego que se trata de valores obtenidos

de árboles jóvenes en *Pinus estevezii*, mientras que el presente estudio es en árboles adultos.

Comparado con otros estudios realizados en especies del mismo género, que obtuvieron un valor superior al obtenido en este trabajo se puede citar al determinado por Hernández (2007) que fue realizado en la misma región; donde el autor reporta una densidad de la madera promedio de 0.516 g cm^{-3} , para *Pinus herreraei*, el estudio consistió en evaluar la variación en densidad de la madera de 27 árboles dentro de cuatro localidades, donde fue extraída una rodaja por árbol a alturas diferentes. Por otro lado, resulta inferior al obtenido por López (1997) que fue de 0.53 g cm^{-3} , para *Pinus rudis* en Arteaga, Coahuila, dicha especie pertenece a la Sección Montezumae según la clasificación de Perry (1991); habiendo otros datos superiores como el obtenido para *Pinus cembroides* Zucc. de 0.58 g cm^{-3} reportado por Vaca (1992). También destaca el determinado por Rojas y Villers (2004) de $.496 \text{ g cm}^{-3}$ para *Pinus hartwegii* Lind. en el volcán La Malinche, entre Tlaxcala y Puebla (Apéndice 2).

El valor promedio de densidad de la madera que se obtuvo en este estudio que fue de 0.3952 g cm^{-3} , el cual se considera bajo al compararlo con los valores que reporta Zobel y Talbert (1988) en la misma especie en diferentes estados de la República Mexicana, de manera que los autores reportan para Michoacán, una densidad de 0.45 g cm^{-3} ; para Puebla $.48 \text{ g cm}^{-3}$ y $.50 \text{ g cm}^{-3}$; y para el estado de México $.44 \text{ g cm}^{-3}$, pues en los artículos, tesis, revistas y demás material consultado no se encontró estudio a fin al realizado, considerándolo el primero en su tipo en *Pinus montezumae* Lamb.

Este valor (0.3952 g cm^{-3}) considerado bajo puede ser debido a que en las 17 alturas de corte, se encuentra presente la sección o ciclo 5, con 100 observaciones que fue el que más baja densidad de la madera presentó $.352 \text{ g cm}^{-3}$, seguido de la sección 10 que tiene $.366 \text{ g cm}^{-3}$ esto a lo largo del perfil; mientras las secciones 50 y 55 solo tuvieron 9 y 3 observaciones respectivamente, la falta de estas secciones se debe a que algunas se extraviaron y se contaba con las fajas incompletas, mientras las

secciones del centro la mayor parte estuvo representada; esto posiblemente influyó en el resultado.

Para hacer una mejor comparación de la variación con respecto a otros estudios el error estándar es el mejor estadístico, ya que incorpora el valor de desviación estándar y el número de muestras. Para el presente estudio se calculó un error estándar de 0.002, superior al valor de 0.001 obtenido para *P. teocote* donde se consideró las alturas de corte y clases de edad (Trujillo, 1999) y al de 0.001 para *P. estevezii* que consideró poblaciones, árboles y alturas (López, 2004); y al obtenido para *P. cembroides* donde se consideró árboles, alturas y secciones (Vaca, 1992), respectivamente; pero a la vez resulta inferior al obtenido por Hernández (2007) para *Pinus herreraei* Mtz. donde se consideraron localidades, arboles, y entre secciones y que fue de 0.004, de igual forma al de López (1997) donde se consideraron árboles, alturas de corte y secciones.

4.2. Análisis de varianza y componentes de varianza

Los resultados del análisis de varianza para densidad de la madera indican que estadísticamente hay variación significativa entre árboles, entre diferentes alturas de corte en el fuste dentro de árboles, y entre secciones o ciclos de crecimiento ($p= 0.0001$) (Cuadro 4). Con base en estos resultados se tienen elementos necesarios para rechazar la hipótesis nula en la que se plantea que: no existen diferencias entre árboles, entre diferentes alturas de corte en el fuste dentro de árboles, y entre secciones o ciclos de crecimiento, para *Pinus montezumae* de la Comunidad Indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

Cuadro 4. Resultados del análisis de varianza y componentes de varianza para la densidad de la madera de *Pinus montezumae*. Lamb. de la Comunidad Indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

F.V	g.l	C.M	F.c	C.V.E	C.V.E.	Esperanza de los cuadrados medios (%)
A	3	0.0190	15.01**	0.000052	1.751	$\sigma^2 e + 1.911 \sigma^2 c(a,b) + 13.16 b(a) + 147.2 \sigma^2 a$
nhc	49	0.0100	7.89**	0.000617	20.671	$\sigma^2 e + 1.8679 \sigma^2 c(a,b) + 11.024 \sigma^2 b(a)$
Sec	269	0.0031	2.51**	0.001044	34.989	$\sigma^2 e + 1.8358 \sigma^2 c(a,b)$
Error	271	0.0012		0.001271	42.589	$\sigma^2 e$
Total	592				100	

F.V.= Fuente de variación, g.l = Grados de libertad, C.M.= Cuadrados medios, F.c= F calculada, C.V.E = Componentes de varianza estimados, C.V.E %= Porcentaje de C.V.E, A= árboles, nhc= numero de altura de corte dentro de árboles, Sec = Secciones o ciclos de crecimiento, $\sigma^2 e$ = varianza del error, $\sigma^2 a$ = varianza entre arboles, $\sigma^2 b(a)$ = varianza entre alturas de corte dentro de arboles, $\sigma^2 c(a,b)$ = varianza entre secciones dentro de rodajas dentro de arboles, **= significativo al nivel de $p= 0.0001$.

De las tres fuentes de variación estudiadas, las secciones contribuyeron con el mayor efecto (35%), siguiendo las alturas de corte (20.7%) y el efecto de cambio de árboles con poco efecto (1.8%) (Cuadro 5).

Comparado con otros trabajos donde se han considerado las mismas fuentes de variación tenemos que: Trujillo (1999) en un estudio realizado en *P. teocote* obtuvo resultados muy parecidos al de este trabajo con la mayor variación atribuida a secciones (34%), seguida por alturas de corte (20%) y por árboles (2.5%), de igual forma Vaca (1992) en *P. cembroides* encontró mayor variación entre secciones (70%), seguida por árboles (8.85%), pero la variación entre alturas de corte no fue significativa (0%), pero en el caso de López (1997) en *P. rudis* encontró una tendencia inversa pues la mayor variación se encontró entre árboles (59%), seguida por alturas de corte (20%) y en último lugar entre secciones (13.7%).

4.3. Variación transversal

Los valores medios de densidad de la madera que se obtuvieron en este estudio por cada 5 anillos de crecimiento y sus respectivas alturas de corte, presentan un patrón de variación bastante definido, en el cual generalmente la densidad de la madera aumenta

del centro del árbol hacia la corteza (Figura 2). Por lo que, la tendencia que presentó la densidad de la madera está bien definida, pues es claro el aumento en densidad de la madera que sigue un patrón de variación continuo y positivo aumentando del centro del árbol, o médula, hacia la periferia. Resultado muy parecido al obtenido por López (1997) quien reporta que la densidad de la madera para *Pinus rudis* presenta un patrón de variación continuo y positivo con relación al diámetro, muy semejante al obtenido en este estudio; mientras que Trujillo (1999) reporta una tendencia más o menos definida, para *Pinus teocote*, pudiéndose corroborar en las gráficas de tendencia transversal que las clases de edad mas próximas a la médula presentaron un valor en densidad alto para después disminuir y volver a incrementar manteniéndose más o menos continuas y positivas, resultado que no es totalmente semejante al obtenido en este estudio. Por otro lado, Plancarte (1987) reporta que la densidad de la madera aumenta con la edad del arbolado, demostrado por la tendencia que encontró en su estudio realizado con *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de La Sabana, Oaxaca.

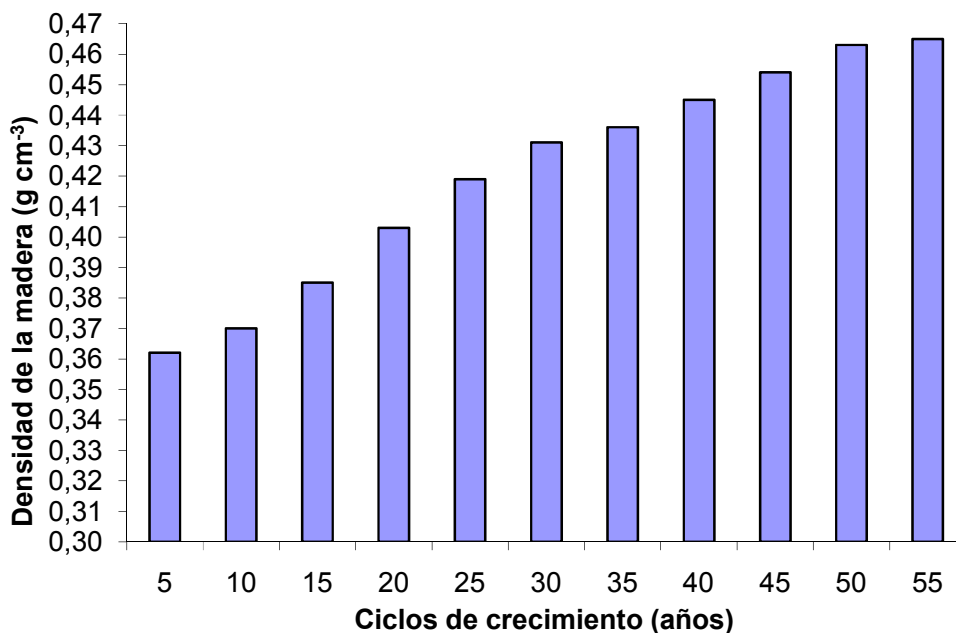


Figura 3. Tendencia en la sección transversal para la media de la DM por ciclos de crecimiento de cinco años para *Pinus montezumae* Lamb. de la Comunidad Indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

4.4 Variación longitudinal

Al analizar la variación longitudinal (Figura 3) la tendencia de la densidad de la madera es generalmente a disminuir desde la base hasta el ápice del árbol, presentándose la mayor densidad media en la altura de corte de 0.30m, para después ir disminuyendo hasta presentar el valor más bajo en densidad en la última altura de corte (34.55 m). Estas diferencias se pueden atribuir a que la transición entre la producción de madera de primavera a otoño se produce primero en la base del tronco para después desplazarse en dirección acropétala (Daniel *et al.*, 1982). Resultados semejantes han sido reportados en estudios similares a este, como es el caso de López (1997) para *Pinus rudis*; Trujillo (1999) para *Pinus teocote*, aunque esta tendencia no es exclusiva de arbolado adulto, pues López (2004) reporta este mismo patrón en un estudio realizado en la regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry de Nuevo León.

Cabe señalar que los valores de densidad de la madera reportados a las diferentes alturas de corte son el promedio del lado A y B de las fajas extraídas de las diferentes alturas de corte, pues en este estudio se consideraron ciclos de crecimiento de cinco anillos a partir de la médula hacia la periferia, teniendo así secciones de crecimiento de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50 y 55 que fue la máxima en las alturas de corte de .30 difiriendo de López (1997) que uso secciones fijas de 5 cm a partir de la médula hacia la periferia, sin importar el número de anillos y tipo de madera que incluyera esta sección y de Trujillo (1999) que para determinar la variación en densidad de la madera en *Pinus teocote* consideró clases de edad, siguiendo la forma de crecimiento del arbolado, que esta formado con conos superpuestos.

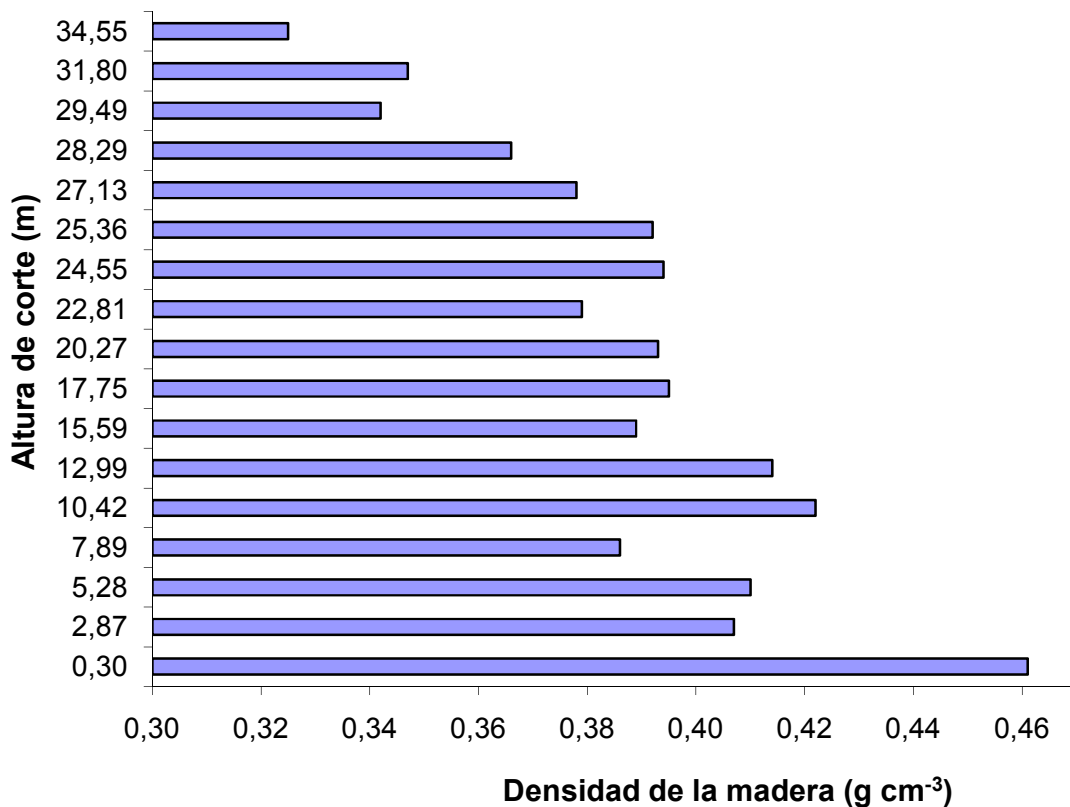


Figura 4. Tendencia en la sección longitudinal para la media de la densidad de la madera para cada una de las alturas de corte en *Pinus montezumae* Lamb. de la Comunidad Indígena Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.

De forma general se puede asegurar que la densidad de la madera es una característica muy variable dentro del árbol tanto longitudinal como transversalmente, presentando valores que van desde 0.352 g cm⁻³ hasta 0.452 g cm⁻³ en sentido transversal y valores de 0.352 g cm⁻³ hasta .325 g cm⁻³ en las sección longitudinal, para este estudio; resultados parecidos a los obtenidos en estudios realizados en especies del mismo género que se caracterizaron por presentar un patrón similar en la variación, como por ejemplo: López (1997) para *Pinus rudis*, Trujillo (1999) para *Pinus teocote* y Vaca (1992) para *Pinus cembroides*, quienes encontraron que la densidad de la madera es menor en la base del árbol que en la parte superior, así como también

resulta ser menor en el centro del árbol aumentando hacia la periferia, reafirmado este patrón a lo señalado por Zobel y Talbert (1988).

Este patrón en la variación de la densidad de la madera ya sea longitudinal o transversalmente puede ser en parte atribuido a las diferencias entre las características de la madera juvenil y la madura; razón por la cual los valores más bajos de la densidad de la madera se encuentran más cercanos a la médula del árbol y en las partes superiores del fuste, contrario a los valores altos de la densidad de la madera que se presentan en la base y cerca de la corteza del árbol (Kollman, 1959).

En el eje transversal se presenta un patrón continuo y positivo de la médula hacia la periferia, mientras que el eje longitudinal, se presenta un patrón diferente al transversal, pues en la altura de corte de .30 presenta una densidad la cual incrementa en la altura de corte de 2.87, 5.28 y 7.89, para después empezar a disminuir conforme se acerca al ápice del árbol (Figura 4).

La sección de crecimiento correspondiente al ciclo de los primeros 5 anillos está presente a lo largo de todas las alturas de corte, las secciones de 10 y 15 solo llegan hasta la altura de 31.80 m, la sección de 20 que llega a la altura de 25.36 m y así sucesivamente disminuyendo las secciones de crecimiento en las alturas de corte, hasta llegar a la sección 55 que sólo se encuentra presente en las alturas de corte de 0.30 m y 2.87 m (Figura 4).

Haciendo la respectiva aclaración que no cierran las líneas correspondientes a cada sección de crecimiento, dado que no se trabajó con clases de edades, sino con ciclos de crecimiento de cinco anillos que al graficarlos tienen una presentación diferente a la reportada cuando se trata de clases de edad.

EN ESTA PAGUINA VA EL PERFIL QUE SE OBTUVO EN ESTE ESTUDIO, DEBIDO A QUE FUE OBTENIDO CON EL PROGRAMA ZIGMA PLOT, NO ES COMPATIBLE CON WORD, PERO PARA PODER OBSERVARLO SE DEBE ABRIR EL ARCHIVO TITULADO PERFIL INTERNO DENTRO DE ESTA MISMA CARPETA.

V CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos sobre la variación de la densidad de la madera en el perfil interno de *Pinus montezumae* Lamb. de la Comunidad Indígena de Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich. se presentan las siguientes conclusiones:

- a) La densidad promedio general se clasifica como moderadamente liviana.
- b) La mayor variación se debe al efecto de secciones con: 35 %, seguido por alturas de corte con 21% y en menor grado entre árboles con 1.7%
- c) La densidad de la madera presenta un patrón de variación definido, el cual aumenta del centro del fuste hacia la corteza, y disminuye de la base del tocón hacia el ápice.

VI RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se pueden aportar al respecto son las siguientes:

- a) Descartar muestras con presencia de nudos, resinadas, apolilladas, o con algún otro defecto que dificulte la determinación de la densidad de la madera.
- b) Se recomienda realizar un estudio entre poblaciones para determinar su densidad entre poblaciones.
- c) Realizar un estudio donde se le relacione con variables fisiográficas y climáticas.
- d) Realizar un estudio de traqueidas para determinar con toda seguridad la calidad de la madera.

VII LITERATURA CITADA

- Amescua C., S y J. Ángeles L. 2003. Las coníferas de Michoacán. Comisión Forestal del estado. Boletín Técnico No 4 Vol. 1. México. 67 p.
- CETENAL. 1977a. Carta Topográfica. E14A15. Maravatio. Esc. 1:50 000. México.
- CETENAL. 1977b. Carta Edafológica. E14A15. Maravatio. Esc. 1:50 000. México.
- CONAFOR, PRONARE. s. f. Programas nacionales forestales. <http://conafor.gob.mx/programasnacionalesforestales/pronare/fichas%20Tecnicas/Pinus%20montezumae.pdf> (Consulta Abril de 2006)
- Daniel, T. W., J.A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Editorial Mc Graw Hill. México. 493 p.
- Echenique M., R. y V. Díaz G., 1969. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. Bol. Tec. No. 27. INIF. México. 61 p.
- Franco A., R. 2001. Índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb y su asociación con variables del clima, fisiografía, físico-químicas del suelo y vegetación en Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis de maestría en ciencias. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 111 p.
- García, E. 1973. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Instituto de Geografía. UNAM. México. 246 p.
- García, M., J. J. 1996. Confieras promisorias para reforestaciones en la sierra Purepecha. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Centro

de Investigación Regional del Pacífico Centro, Campo experimental Uruapan. Agenda Técnica No 2. México. 80 p.

Hernández, De la C. J. 2007. Variación de la densidad de la madera de *Pinus herrerae* Mtz. en Ciudad Hidalgo, Michoacán. México. Tesis profesional Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila. México. 42 p.

Hocker Jr., H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T Editor. México. 467 p.

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

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.

Landrach, W. E. 1984. Calidad de la madera de *Pinus patula* Schl. Et al Cham. Investigación forestal. Cartón de Colombia. Informe de Investigación No 92. Cali, Colombia. 17 p.

López A., F. 1997. Variación en densidad de la madera entre y dentro de árboles en *Pinus rudis* Ende. En sierra Las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 55 p.

López M., A. 2004. Variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 52 p.

Mas P., J y A. Prado. 1975. Comparación del método de resinación de pica de corteza con estimulantes contra el método francés. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Boletín técnico No 45. México. 49 p.

- Pereyra G., J. A. 2003. Estudio epidemico e índice de sitio para *Pinus montezumae* Lamb. en la región de Ciudad Hidalgo, Michoacán. México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 130 p.
- Perry Jr., J.P. 1991. The pines of Mexico and America central. Timber press. Portland, Oregon, U.S.A. 563 p.
- Plancarte B., A. 1987. variación del peso específico de árboles selectos de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* de la Sabana, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 52 p.
- Rodríguez F., C. 1997. La silvicultura de *Pinus montezumae* Lamb. en la región central de México. Ciencia Forestal en México 22: 91-115
- Rojas G., F y L. Villers Ruiz. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán la Malinche. Madera y Bosques 11 (1), 2005: 63-71 p.
- SEMARNAP. 1999. Anuario estadístico de la producción forestal 1997. México.139 p.
- SEMARNAT. PROCYMAF. s. f. Especies con usos no maderables en bosques de encino, pino y pino-encino en los Estados de Chihuahua, Durango, Jalisco, Michoacán, Guerrero y Oaxaca (Consulta Septiembre de 2006).
- 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.
- Steel, R. G.D. y J. H. Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics a biometrical approach. 2 second edition. Mac Graw-Hill. U.S.A. 633 p.

- Tzab C., J. de los A. 2002. Variación en densidad de la madera, proporción en madera tardía y crecimiento en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr. de Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 60 p.
- 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. 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.
- Valencia M., S. y M. López L. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm del norte de México. 7(1): 37-46.
- Van Buijtenen, J. P. 1963. Inheritance of wood density properties and their relation to growth rate in *Pinus taeda*. World consultation on forest genetics and tree improvement . FAO. Roma. 13 p.
- Vázquez S., L y G. Noveno G. 1994. Prueba de efectividad de los preservadores de madera. SARH. INIFAP. Centro de investigación de la región centro, Campo experimental San Martinito, Tlahuapan, Puebla. Folleto de Investigación No. 1. México. 16 p.
- Yáñez M., O. y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz., de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueiadas de madera. *Revista Chapingo*. 15(75); 18-24.
- Young. A. R. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Editorial Limusa. México. 632 p.
- Zobel, B. J. y J. T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p.

Wright, J. A. Impact of wood quality assessments on future fiber resource in the pulp and paper-marking industry. Sappi Forest. No. 157. 96-99 p.

Zamora C., E. M. y L. C. Mendizábal H. 2004. Variación del peso específico de una prueba de procedencias/progenie de *Pinus caribea* Mor. var. *hondurensis* Barr. y golf. en la región de los Tuxtlas Veracruz, México. Foresta Veracruzana 6(2): 41-46 p.

VIII APÉNDICE

Apéndice 1. Clasificación de la madera de acuerdo a su densidad (g cm^{-3}) en relación a su peso anhidro sobre su volumen verde, desarrollada por Markward y Heck (tomado de Echenique y Díaz, 1969).

Relación de la densidad de la madera peso anhidro al peso verde. D.M.= Pa/Vv	Terminología Markward y Heck
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 0.35	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

Apéndice 2. Comparación de los componentes de variación estimados en otros estudios de diferentes especies del genero Pinus considerando diferentes fuentes de variación.

Autor	Especie	Componentes de varianza FV		
		Árb	Hr	Sec
López (1997)	<i>P. rudis</i>	59.8	20.3	13.7
Trujillo (1999)	<i>P. arizonica</i>	2.54	37.26	34.42
Vaca (1997)	<i>P. cembroides</i>	8.85	0.00	70.10

F.V. Fuentes de variación, Arb: Árbol, H.C.R: Alturas de corte de las rodajas, Sec. Secciones de madera

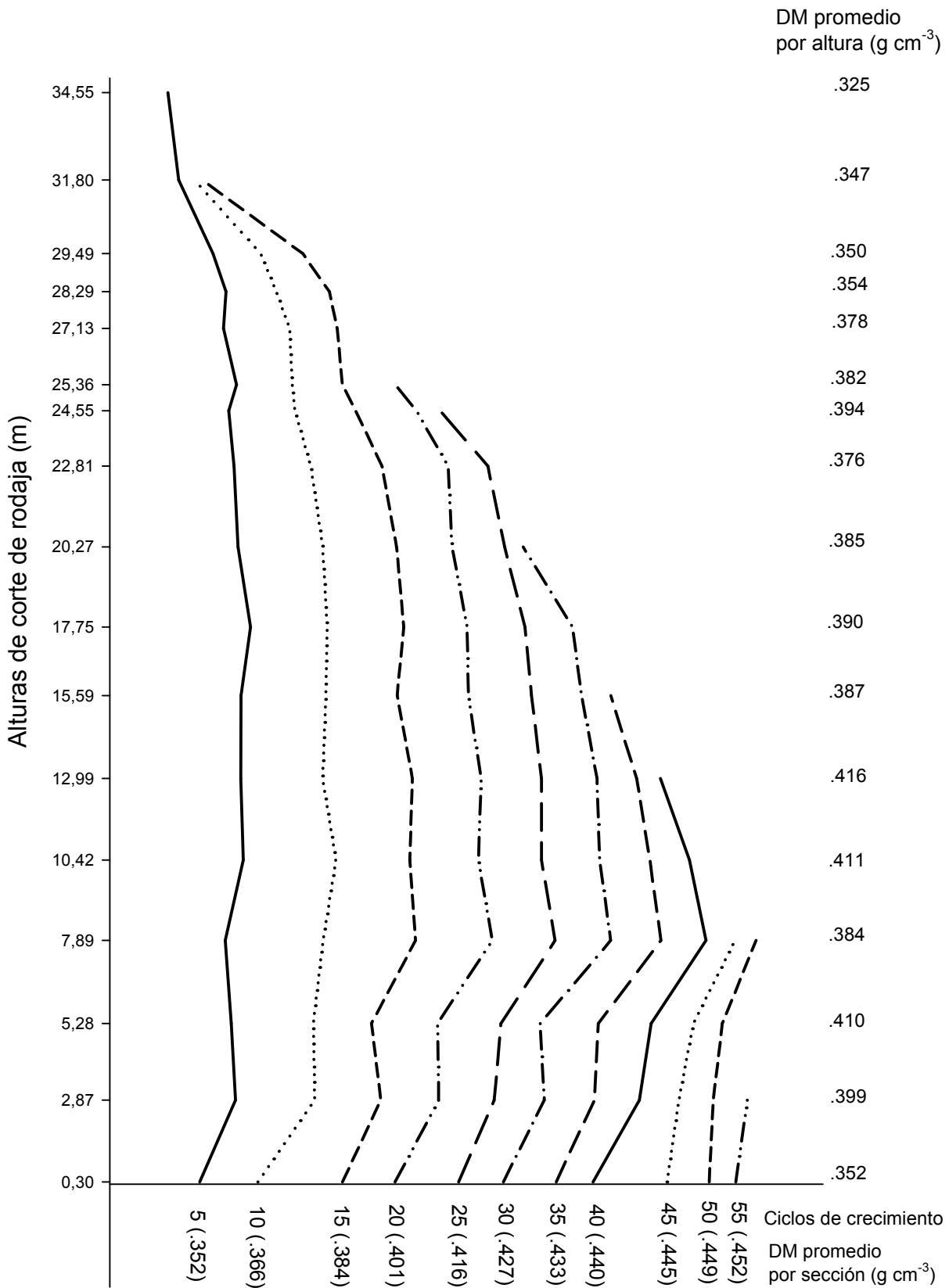


Figura 4. Representación esquemática de la variación de la densidad de la madera (g cm⁻³) en el perfil inteno de *Pinus montezumae* Lamb. de la comunidad indígena de Santa Ana de Gerahúaro, Zinapécuaro, Mich.