

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y
crecimiento
en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr., de Chihuahua.**

Por:

José de los Ángeles Tzab Can

TESIS

**Presentada como Requisito Parcial para
Obtener el título de:**

Ingeniero Forestal

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Noviembre de 2002

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL**

Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y crecimiento en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr., de Chihuahua.

TESIS

Que se somete a consideración del H. Comité de Tesis
como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

PRESENTA

José de los Ángeles Tzab Can

APROBADA

M. C. Salvador Valencia Manzo

Asesor principal

Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo

Ing. José A. Ramírez Díaz

Asesor

Asesor

M. C. Reynaldo Alonso Velasco

Coordinador de la División de Agronomía

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Noviembre de 2002.

El presente estudio se realizó como parte de los proyectos de investigación "Cartografía de la productividad forestal maderable en los bosques de *Pinus* de la región Tarahumara de Chihuahua" (Clave: 02.03.0207.2572) y "Estudio de la variación en características de la madera en coníferas de México" (Clave: 02.03.0207.2371) de la Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro".

DEDICATORIA

A MI FAMILIA, especialmente a los dos seres humanos que más amo en la vida, mis padres:

Sr. José Dolores Tzab Cahuich

Sra. Juana María Can Cahuich

Por haberme dado la vida, cariño, apoyo, bendiciones y consejos, por sus esfuerzos, sacrificios y confianza que depositaron en mí, ya que pude realizar una de mis metas, que es la herencia más valiosa que he podido recibir. Gracias a los dos por su entrega al darme lo mejor y por ayudarme a descubrir y valorar la vida.

A MIS HERMANOS: Jaime, Maricela, Ofelia, Guillermina, Georgina, Nathaly y Aracely.

Por haberme apoyado incondicionalmente en los momentos difíciles, por tantos momentos felices que hemos pasado y por ser mis mejores amigos.

A mis abuelos, tíos, primos, cuñados y sobrinos. Gracias por su amistad y consejos.

Y a una persona muy especial: Martha Z. C. por su confianza, cariño y apoyo incondicional que siempre me ha brindado. Gracias por hacer mi vida más feliz.

AGRADECIMIENTOS

A **Dios** por iluminar mi vida y por escuchar mis ruegos.

A mi " Alma Mater" la **Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro"** por permitirme ingresar en sus aulas y prepararme en mi formación profesional.

Al **Departamento Forestal** de la Universidad por toda la ayuda recibida y por permitir formarme como profesionista.

Al **M. C. Salvador Valencia Manzo**, por su gran paciencia y apoyo brindado durante el desarrollo del presente trabajo. Gracias por su amistad y consejos y por enseñarme a hacer bien las cosas.

Al **Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo**, por sus valiosas sugerencias para mejorar este trabajo. Gracias por la amistad y contribuciones a mi desarrollo profesional.

Al **Ing. José A. Ramírez Díaz**, por sus comentarios y aportaciones en la mejora del presente trabajo.

A la **T.L. María de Jesus Sánchez** del Departamento de Ciencias Básicas, por las facilidades prestadas y por su valioso apoyo en la toma de datos.

A la **Lab. Angélica Martínez Ortiz y Biol. Laura Glez. Méndez** del Departamento de Botánica por las facilidades prestadas y por su apoyo en la toma de datos.

A mi entrenador de Beisbol **Lic. Ruben Cantú Villarreal** y compañeros del equipo, por su amistad y motivación.

A **mis compañeros de generación**: Paulino Morales L., Ruben Vela M., Omar Delgado, Julián Cerano P., y Rodolfo P. P. por su amistad brindada durante toda la Carrera.

A **mis grandes amigas y amigos**: Clara Flores C., Marisol Asencio G y Alex A., Rigo I. Saucedo, Javier Guerrero, Mauricio López C. y Jorge R. Acuña P. Gracias por su amistad y consejos y por tantos momentos de alegría que juntos hemos compartido.

ÍNDICE

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos	2
1.2 Hipótesis	2
II REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Variación natural	3
2.1.1 Fuentes de variación	3
2.1.2 Niveles de variación	4
2.2 Formación de la madera	6
2.2.1 Formación de los anillos	6
2.2.2 Madera juvenil y madera madura	7
2.3 Densidad de la madera	8
2.3.1 Importancia de la densidad de la madera	9
2.3.2 Estimación de la densidad de la madera	10
2.4 <i>Pinus engelmannii</i> Carr.	12
2.4.1 Descripción botánica	12
2.4.2 Distribución y ecología	13
2.4.3 Importancia	13
2.5 Muestreo	14
2.5.1 muestreo sistemático	14
2.6 Correlación	14
III MATERIALES Y MÉTODOS	15
3.1 Descripción del área de estudio	15
3.2 Trabajo de campo	19
3.2.1 Planeación del recorrido	19
3.2.2 Método de muestreo	20

3.2.3 Muestreo de sitios	20
3.2.4 Muestreo del arbolado	21
3.2.5 Zonificación de regiones	21
3.3 Trabajo de laboratorio	23
3.3.1 Saturación y seccionado de muestras	23
3.3.2 Medición de madera temprana y madera tardía	23
3.3.3 Determinación de la densidad	24
3.4 Procesamiento y análisis estadístico	25
3.5 Correlaciones	27
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN	29
4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión	29
4.2 Tendencias a través de la edad	33
4.2.1 A nivel general	33
4.2.2 A nivel de regiones	36
4.3 Variación entre regiones, sitios y árboles	40
4.4 Variación entre regiones	43
4.5 Correlación de variables	46
V CONCLUSIONES	50
IV RECOMENDACIONES	52
LITERATURA CITADA	53
ANEXOS	59

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
1. Agrupación de las cuatro regiones estudiadas con sus sitios, árboles y municipios que conforman cada región	20
2. Componentes de los cuadrados medios esperados para la variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal en cada una de las regiones	26
3. Componentes de los cuadrados medios esperados para la densidad de la madera, proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal para un modelo anidado o jerárquico	27
4. Medidas de tendencia central y de dispersión para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal de <i>Pinus engelmannii</i> en la Sierra Tarahumara de Chihuahua	29
5. Análisis de varianza y componentes de varianza para la densidad de la madera, de <i>Pinus engelmannii</i> entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua	41
6. Análisis de varianza y componentes de varianza para la proporción de madera tardía, de <i>Pinus engelmannii</i> entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.	42
7. Análisis de varianza y componentes de varianza para el incremento corrientes anual en diámetro normal, de <i>Pinus engelmannii</i> entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua	43
8. Prueba de separación de medias, mediante la prueba Tukey para la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de <i>Pinus engelmannii</i> entre regiones de la Sierra Tarahumara de Chihuahua	44
9. Análisis de correlación de las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) con variables dasometricas y con variables de sitios de <i>Pinus engelmannii</i> , de la Sierra Tarahumara de Chihuahua	48

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Ubicación geográfica de la Sierra Tarahumara de Chihuahua	16
2. Mapa de distribución de sitios de <i>Pinus engelmannii</i> , en la Sierra Tarahumara de Chihuahua	22
3. Tendencia general de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de <i>Pinus engelmannii</i> , de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, en función de la edad	34
4. Tendencia de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de <i>Pinus engelmannii</i> entre regiones de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, en función de la edad	38

RESUMEN

Pinus engelmannii Carr. es una especie altamente aprovechable en el estado de Chihuahua, su producción maderable supera el millón y medio de metros cúbicos de madera en rollo, además de que se encuentra ampliamente distribuido en la Sierra Tarahumara de Chihuahua. El propósito fundamental de este trabajo fue determinar la densidad de la madera, la proporción de la madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* y conocer la variación de éstas características entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

La densidad de la madera (DM) se determinó a través del método de máximo contenido de humedad, se emplearon un total de 157 árboles, las muestras fueron obtenidas con el taladro de Pressler, cada muestra se seccionó cada 20 anillos. La proporción de madera tardía (PMT) se obtuvo de la medición de la longitud total de los anillos de crecimiento y del ancho de la madera tardía (parte más oscura del anillo), se midieron 6 anillos de cada sección o periodo, utilizando un microscopio-estereoscopio con una lente micrométrica con precisión de 0.09 mm. El incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) se determinó mediante la suma de la longitud total de los 6 anillos de crecimiento de cada sección, se multiplicó por dos y posteriormente se dividió entre los 6 (No. de anillos medidos).

Los resultados obtenidos de este estudio, revelan que la DM presentó un valor promedio de 0.446 gr cm^{-3} y que muestra mayor variación entre árboles (21.69%) y menor entre sitios y entre regiones (3.54 y 1.32%, respectivamente), mientras que la PMT tuvo un valor promedio de 0.280 y presenta mayor variación entre regiones (32.60%) y menor variación entre sitios y entre árboles (9.15 y 1.95%, respectivamente) y para el ICA-DN se encontró un promedio de $4.931 \text{ mm año}^{-1}$ y presenta mayor variación entre árboles (17.94%) posteriormente entre sitios (11.25%) y entre regiones (6.24%). Sin embargo para las tres variables, la mayor variación se presentó en el error (73.43, 56.28 y 64.52%, respectivamente).

Las tendencias a través de la edad parecen mostrar que en tres regiones (Madera, Basaseáchic y Guachochi) la DM disminuye del centro hacia la corteza, y sólo en una región (San Rafael) se da un ligero aumento (0.46 gr cm^{-3} a 0.47 gr cm^{-3}) de la parte central del árbol hacia la corteza. La PMT presenta una tendencia contraria al de densidad de la madera, puesto que se encontró que ésta va en aumento del centro hacia la corteza. El ICA-DN presenta tendencia decreciente del centro del árbol hacia la corteza en las cuatro regiones.

Asimismo, se encontró que existen diferencias altamente significativas (0.0001) entre las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* en las cuatro regiones estudiadas en la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

Los análisis de correlación muestran que la DM presenta correlación positiva con la PMT ($r=0.15$; $p=0.05$), y no presenta correlación con el ICA-DN. Mientras que entre la PMT y el ICA-DN, se presentó una correlación negativa ($r=-0.18$; $p=0.03$).

I INTRODUCCIÓN

A través del mejoramiento genético de los árboles forestales es posible obtener individuos con características superiores y realizar su propagación en plantaciones forestales comerciales, y de este modo incrementar la productividad de los terrenos forestales y por lo tanto los beneficios económicos. Para realizar el mejoramiento genético, se requiere que las características sobre las que se desea una mejora tengan variación y sean heredables (Zobel y Talbert, 1988).

La densidad de la madera es una característica que tiene repercusión directa sobre la calidad de los productos de madera, tales como resistencia de la misma en la construcción y el rendimiento en la elaboración de pulpa para papel. Asimismo, es factible realizar mejoramiento genético, ya que en diversos estudios se ha encontrado variación en diferentes niveles, así como cierto control genético (Valencia y Vargas, 2001). Sin embargo, para cada especie en particular se requiere conocer el grado de variación que presente la densidad de la madera, así como otras características de importancia económica, sobre las cuales se pretenda realizar mejoramiento genético.

Pinus engelmannii Carr. de la Sierra Tarahumara, en Chihuahua, es una especie con alto potencial económico en esa región, debido a su amplia distribución natural (García y González, 1998 y Cruz, 2001), así como por ser de amplio uso en la industria forestal. Pero no se tiene conocimiento preciso sobre el grado de variación que presenta la densidad de la madera de esta especie en su área de distribución natural, y de allí nace el interés por el presente trabajo.

1.1 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo, es determinar la magnitud y el nivel de variación de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el

incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

Los objetivos específicos son:

- a) Conocer en qué grado contribuye las diferencias entre regiones, entre sitios y entre árboles, sobre la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual, de *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

- b) Conocer el grado de asociación de las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal entre ellas, así como con algunas variables dasométricas y variables fisiográficas, de *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara, Chih.

1.2 Hipótesis

Las hipótesis nulas propuestas son:

Ho: No hay diferencia en la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal entre regiones, entre sitios de una misma región, ni entre árboles de un mismo sitio, de *P. engelmannii* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

Ho: No hay asociación entre las variables densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal, así como tampoco con variables dasométricas ni con variables fisiográficas, de *P. engelmannii* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Variación natural

Se refiere a diferencias entre individuos, debido básicamente a su composición genética, aunque también se refiere al ambiente en el cual se desarrollan (Robles, 1982). Furnier (1997) señala que la variación natural es el principal mecanismo de evolución, misma que está relacionada con la capacidad de adaptación a cambios ambientales.

Ritchie (1968) menciona que existen algunas características que son muy poco variables y que reflejan poca variación de un individuo a otro, por lo contrario hay otros caracteres que exhiben un alto grado de variación. Cuando dos individuos se encuentran en un mismo lugar, es difícil de establecer diferencias ambientales, ya que éstas son atribuidas a diferencias genéticas.

Zobel y Talbert (1988) señalan que existe variabilidad del peso específico de la madera en un mismo árbol, la cual va a depender de la altura del árbol a la que se tome la muestra. Por otro lado, Hocker (1984) menciona que las diferencias en el ambiente provocan variación en las características de la madera y estas variaciones pueden manifestarse en diferentes características y niveles.

2.1.1 Fuentes de variación

La variación natural que existe entre los individuos puede conocerse mejor si se saben las causas que originan la existencia de dicha variación, éstas se pueden englobar en tres fuentes principales:

a) Diferencias en el desarrollo

Esta variación es notable en los árboles ya que va en aumento con el paso de los años (edad), estas variaciones empiezan desde las semillas, hasta las diferencias presentes en las grandes masas forestales, de ahí que es grandemente notable la variación entre los diferentes árboles, por lo que se hace importante su estudio (Willan *et al.*, 1993).

b) Variación ambiental

Ésta hace referencia a los niveles de variación dados entre áreas geográficas, entre localidades y entre sitios de una misma localidad, estas diferencias también se refieren a cambios de altitud y latitud de las diferentes áreas; incluso el material de una misma localidad suele mostrar diferencias si se encuentra en sitios geográficamente distintos (Graudal, 1993). Existen dos formas de variación de rasgos morfológicos, fisiológicos y anatómicos, una clinal o continua y otra ecotípica o discontinua, en la primera los caracteres tienen una variación continua sin fluctuaciones bruscas, se presentan en características como el tamaño de los conos, longitud de las fibras y grosor de la pared celular, en este tipo de variación influye el medio ambiente como la temperatura y la precipitación; en la segunda forma de variación conocida como ecotípica o discontinua, se pueden diferenciar en clases a los fenotipos de una población (Robles, 1982).

c) Variación genética

Willan *et al.* (1993) señalan a ésta, como la variación asociada dentro de determinadas especies y que son transmitidas de generación en generación. Las diferencias en las características morfológicas pueden ser dadas por variación de genes individuales o grupos de genes en diferentes localidades (Hocker, 1984).

2.1.2 Niveles de variación

Diversos estudios realizados sobre variación natural en especies forestales demuestran que existen varios niveles de variación que pueden agruparse de la siguiente manera.

a) Variación geográfica (o de procedencia). Son las diferencias que se observan en individuos de poblaciones separadas, las diferencias geográficas controladas pueden ser grandes, sobre todo si se trata de características relacionadas con la adaptabilidad tales como crecimiento, forma, altura y follaje (Wright, 1976). Zobel y Talbert (1988) señalan que el conocimiento y buen uso de las variaciones geográficas de las poblaciones, así como de los individuos suele conducir al éxito de los programas de mejoramiento genético. Algunos estudios sobre la variación geográfica donde se han encontrado diferencias, se enlistan a continuación: Beristain (1992) estudió la variación morfológica y anatómica de acículas de *Pinus greggii* Engelm. para estimar la variación de cuatro procedencias del Norte del país y Hernández (1986) realizó un estudio sobre variación de acículas, conos y semillas de *Pinus chiapensis* Mtz., en seis procedencias de los estados de Chiapas y Oaxaca.

b) Variación entre sitios

Suelen existir grandes diferencias entre distintos sitios, pero con frecuencia estas diferencias no están determinadas por el factor genético, y sólo representa los efectos de diferentes ambientes sobre el crecimiento y desarrollo de los árboles (Zobel y Talbert, 1988).

c) Variación entre rodales dentro de sitios

Los rodales de un mismo sitio suelen diferir, aunque las diferencias a nivel genético son relativamente pequeñas, la variación que pueda existir de los rodales dentro de un sitio, resulta que es causa de las fuerzas de la selección natural (Zobel y Talbert, 1988).

d) Variación entre árboles de un mismo rodal

Suele existir bastante diferencia entre los árboles individuales de una misma especie, aún cuando éstos se encuentren creciendo en un mismo rodal. Para el caso de selección y cruzamiento genético, este tipo de variación es el que

principalmente se utiliza, ya que a este nivel es donde se manifiesta la variación más importante de las características del árbol (Zobel y Talbert, 1988).

e) Variación dentro del árbol

A este nivel de variación, se observan las características que varían dentro del árbol en forma individual, tales como: la densidad de la madera, follaje y la longitud de las traqueidas (Yáñez y Caballero, 1982). Para obtener valores de variación confiables es necesario conocer las áreas del árbol donde se presenta la variación, ya que de allí van a depender los tipos y posiciones de las mediciones que deban tomarse (Zobel y Talbert, 1988).

2.2 Formación de la madera

Creber y Chaloner (1984) señalan que el crecimiento de la madera se ve influenciado por factores externos, tales como el clima que es el que determina el nivel de agua en los árboles, las temperaturas ambientales y la duración del crecimiento estacional del árbol. El clima como producto de la altitud, latitud, radiación solar y la posición geográfica del sitio, en colaboración con los factores internos del árbol como: la fotosíntesis, el fotoperiodo, factores genéticos y reguladores del crecimiento, juegan un papel de interés en el crecimiento de la madera.

2.2.1 Formación de los anillos

En las pináceas el crecimiento de los anillos anuales de los árboles se inicia con la producción de hormonas dentro de los meristemos apicales. Las células del cámbium se dividen para formar traqueidas que van a formar una madera uniforme. Las células de la madera que se forma en primavera se denomina "madera temprana" y poseen paredes delgadas y diámetros grandes; al avanzar la temporada de crecimiento de los anillos hay una época en que se forma madera de transición, debido a que la producción de traqueidas se reduce, este proceso se da primero en la porción alta de la copa hacia la parte superior del tronco,

avanzando en dirección basipétala hasta llegar a la base del árbol, a partir de aquí se empieza a formar la madera de otoño o "madera tardía", con paredes gruesas y de menor lumen comparado con las células de la madera de temprana, originándose con este proceso la formación de los anillos de crecimiento de los árboles (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984).

Fahn *et al.* (1983) mencionan que la formación de los anillos es el resultado de la periodicidad en los tipos de elementos formados por el cámbium. Una vez que las hojas han formado suficientes carbohidratos para la formación de células comienza el crecimiento radial en la primera parte de la primavera, donde el primer brote es de crecimiento rápido por lo que estimula la formación de madera joven (Hocker, 1984).

De acuerdo con Cook y Kairiukstis (1992) los anillos de crecimiento están divididos en dos partes que se encuentran claramente definidas y se identifican fácilmente por sus colores, el claro típico de la madera temprana que se produce en mayor proporción en la etapa juvenil del árbol y el color oscuro característico de la madera tardía o madera de otoño que se produce en una menor proporción ya que se forma al final de la época de crecimiento de los anillos.

Existen una gran variedad de factores que afectan la formación de los anillos de crecimiento, de los cuales se pueden mencionar: la disponibilidad de auxinas y carbohidratos que ocurre en el verano, la disponibilidad de agua, las temperaturas ambientales, y el fotoperiodo, entre otros, si estos factores no se encuentran en las condiciones óptimas requeridas por el árbol, suelen conducir a una reducción de la actividad fisiológica del árbol y por consiguiente afecta la formación de los anillos (Daniel *et al.*, 1982). Existen otros factores que no son de relevancia pero que de alguna manera, afectan la formación de la madera, entre estos factores se pueden mencionar la calidad de sitio, la competencia entre árboles, la poda y el suministro de nutrientes (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984).

2.2.2 Madera juvenil y madera madura

La madera juvenil es aquella que se forma cerca de la médula en forma de un semicilindro que se puede observar a todo lo largo del árbol, es decir que existe un centro o corazón de madera juvenil y se relaciona con el número de anillos de la madera, la madera juvenil también se puede describir como la madera que se forma bajo la influencia directa de la copa (Daniel *et al.*, 1982; Zobel, 1985; Zobel y van Buijtenen, 1989).

Algunas características que definen a la madera juvenil son: células de paredes delgadas, traqueidas más cortas, bajo contenido de celulosa, alto porcentaje de madera de reacción y compresión, de poca resistencia, baja proporción de pulpa y alta producción de hemicelulosa entre otras (Zobel, 1985; Zobel y van Buijtenen, 1989).

A la madera juvenil se le pueden dar una serie de usos dependiendo de su manejo y utilización, de entre ellos se pueden mencionar a los siguientes: producción de pulpa para papel con baja resistencia a rasgarse, productos derivados del papel periódico, se puede usar también para pulpa termomecánica (Zobel, 1985). Para que en un futuro esta madera se altamente útil será necesario que la industria forestal modifique sus técnicas de manufactura para sacar ventajas a partir de las cualidades de la madera juvenil, ya que, de este tipo de madera, es la que en mayor proporción se obtiene en especies de coníferas tropicales (Zobel, 1985).

La madera madura se forma aproximadamente después de 15 años de haberse producido la madera juvenil, se da un periodo de transición por lo que inmediatamente después de este proceso, el árbol tiende a la formación de la madera madura, es decir, esta madera se forma en la parte exterior de la madera juvenil (Daniel *et al.*, 1982). Algunas características que definen a esta madera son: alta densidad, paredes celulares gruesas, mayor resistencia y gran producción de celulosa, entre otras (Zobel y Talbert, 1988).

2.3 Densidad de la madera

La densidad de la madera se define como el peso anhidro de la madera en relación a su volumen verde; se expresa en g cm^{-3} o t m^{-3} (Zobel y Talbert, 1988). La densidad de la madera es una de las propiedades físicas que más se ha estudiado y es la que mejor demuestra la calidad de la madera como material de construcción (Kollmann, 1959). La densidad de la madera no es una característica simple, ya que en ella influyen varios componentes, entre los que destacan: la cantidad de madera tardía o de verano, el tamaño de las células y el grosor de la pared celular (Zobel y Talbert, 1988).

2.3.1 Importancia de la densidad de la madera

La calidad de la madera deseada dependerá de su composición química, de la estructura anatómica, y de sus propiedades físico-mecánicas, entre otras, proporcionando así el uso de la madera en relación con su densidad relativa o peso específico (Becerril, 1993). 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).

El peso específico, comúnmente llamado densidad de la madera, es quizá la característica más importante de la madera dentro de las especies, ya que influye grandemente en la calidad del producto que se vaya a obtener, esta influencia la ejerce sobre la calidad, rendimiento y heredabilidad, es por eso que la densidad de la madera ha adquirido gran importancia principalmente en los programas de mejoramiento genético, no importando si el objetivo es producir madera u otros productos sólidos de madera (Zobel y Talbert, 1988).

Hocker (1984) señala que la densidad de la madera tiene suma importancia para el uso que se le dé a este material, ya que no sólo afecta la producción de celulosa, sino que también influye sobre las calidades del maquinado. Wright y Endo (1993) señalan que la densidad de la madera expresada en términos de

volumen, es de gran uso para predeterminar la cantidad de madera sólida que pueda producir un rodal. Así mismo, las maderas que poseen una alta densidad son las que tienen más resistencia a la pudrición (Ladrach y Gutiérrez, 1979). Las características de resistencia de la madera, así como su poder calorífico dependen precisamente de su densidad, además que es un dato que a simple vista puede indicar la calidad de la madera (Kollmann, 1959). La densidad básica o relativa de la madera tiene un efecto importante sobre el rendimiento y la calidad del producto final y se considera como la propiedad de la madera más importante para casi todos los productos maderables derivados de las especies forestales (Kollmann, 1959).

La productividad total de la biomasa de un rodal no se puede determinar a menos que se conozca la densidad promedio de la madera (Zobel y Talbert, 1988). Por otra parte, la densidad de la madera es una propiedad que muestra una amplia variación entre y dentro de especies, así como un fuerte control genético, por lo que es posible manipularla genéticamente (Zobel y van Buijtenen, 1989).

Por su parte Kollmann (1959) señala que existen varios factores que influyen sobre la densidad de la madera, estos factores son: factores intrínsecos como la especie, la edad del árbol y la situación del tronco, así como factores extrínsecos como la estación y localización, la repoblación y el tratamiento y cuidado del suelo.

El uso de la madera suele depender en gran medida de su densidad, de manera tal, que las maderas con alta densidad se pueden emplear en la elaboración de durmientes para ferrocarril, mangos para diferentes utensilios, como combustibles entre otros, en tanto que las maderas con baja densidad tienen otros usos como en la industria aeronáutica, donde se debe de garantizar la mayor resistencia con el menor peso posible (Kollmann, 1959).

2.3.2 Estimación de la densidad de la madera

La estimación de la densidad básica de la madera consiste en obtener el valor del peso anhidro de las muestras de madera y el volumen respectivo en verde de las mismas, como indica la definición de la densidad de la madera (Kollmann, 1959).

Existen diversos métodos para estimar la densidad de la madera, entre los más sencillos se pueden señalar: el método de desplazamiento en agua, el método empírico y el método de máximo contenido de humedad, entre otros.

a) Método de desplazamiento en agua

Para este caso las muestras de madera se colocan en un recipiente con agua donde permanecen hasta su saturación. Para obtener el volumen por desplazamiento en agua se coloca un recipiente con agua sobre una balanza analítica, seguidamente se introduce cada muestra sin que toque las paredes ni el fondo, de tal forma que sólo se obtenga el volumen desplazado del agua, considerando a este como el volumen verde y la densidad del agua como la unidad; el peso anhidro se obtiene al secar las muestras en una estufa a $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$ y luego pesarlas en una balanza analítica, para posteriormente estimar la densidad básica de la madera (Valencia y Vargas, 1997).

b) Método empírico

Usado para estimar la densidad de la madera en muestras pequeñas como son los cilindros de madera, obtenidos con el taladro de Pressler, para el cual se considera a cada muestra como un cilindro perfecto, aquí se mide la longitud de la viruta con una regla graduada cuando esta se encuentra saturada de humedad, se calcula su volumen en verde (cm^3) con el diámetro interior del taladro y la longitud de la viruta, posteriormente se determina el peso anhidro (g) de la muestra o viruta al deshidratarla en una estufa a $105^{\circ} \pm 5^{\circ}\text{C}$. La densidad de la madera se obtiene al dividir el peso anhidro entre el volumen en verde (Valencia y Vargas, 1997).

c) Método de máximo contenido de humedad

En este método las muestras de madera se colocan en un recipiente con agua y posterior a ello se colocan en una cámara al vacío para agilizar y lograr la penetración total del agua en la muestra, dando un tiempo mínimo de 24 horas para este proceso. se pesan en una balanza analítica (con precisión de 0.0001 g), quitando el exceso de agua para obtener así el peso saturado (Ps). Los pesos anhidros (Pa) de las muestras son obtenidos secando las muestras en una estufa de secado a temperaturas que van de los 105° a los 110° C. la densidad de la madera se obtiene a través de la siguiente fórmula (Smith, 1954).

$$DM = \frac{1}{\frac{Ps - Pa}{Pa} + \frac{1}{1.53}}$$

Existen otros métodos que con menor frecuencia se usan para estimar la densidad de la madera, algunos muy precisos como el métodos de rayos x (Jozsa y Brix, 1989) y otros que no son tan precisos, pero sí muy prácticos como el uso del pilodyn (Notivol *et al.*, 1992).

2.4 *Pinus engelmannii* Carr.

Esta especie fue descrita en 1848 por Engelmann con el nombre de *P. macrophylla*; pero en 1854 fue redescrita por Carriere, dándole el nombre de *P. engelmannii*. Años más tarde en 1909 Shaw, reconoce esta misma especie como variedad del *P. ponderosa*. Para algunos autores esta especie es sinónimo de *P. apachea* Lemn., *P. latifolia* Sarg., y *P. mayriana* Sudw; aunque otros autores lo reconocen como *P. macrophylla* Engelmann, *P. engelmannii* Carriere y *P. ponderosa* var. *macrophylla* Shaw (Martínez, 1948).

2.4.1 Descripción botánica

En Chihuahua, Durango y Sonora se le conoce con los nombres comunes de pino real, pino prieto y pino real de barbas largas. Son árboles de 12 a 35 m y en ocasiones de hasta 60 m de altura y con diámetro a la altura del pecho de 25 a 100 cm, posee copa abierta y redondeada; las ramas son largas y gruesas en forma ascendente; la corteza es de color café oscuro, rugosa y escamosa,

dividida en placas largas y angostas; sus hojas están en fascículos de 3 a 5, de 25 a 35 cm de largo; los conos son duros y pesados, asimétricos y curvados, de color ligeramente amarillos, los cuales maduran en el invierno y permanecen cerrados por algún tiempo; las semillas son de color café oscuro de 5 a 8 mm de largo (García y González, 1998)

2.4.2 Distribución y ecología

Es una especie de pino típica de la Sierra Madre Occidental, su distribución se prolonga hasta el Sur de Arizona y Nuevo México (U.S.A) y en México se distribuye en los estados de Durango, Zacatecas, Chihuahua y Sonora (Martínez, 1948). Rzedowski (1978) lo reporta también para los estados de Jalisco y Aguascalientes. Se ubica entre los paralelos 21° 50' a 31° 15' de latitud Norte y entre los meridianos 103° 45' a 110° 35' de longitud Oeste (Eguiluz, 1978).

Pinus engelmannii se encuentra principalmente en los bosques de pino-encino y bosque de encino-pino, también se le puede encontrar en los bosques de encino, bosques de pino-encino con vegetación secundaria, pastizal inducido y bosques de encino con vegetación secundaria, forma rodales puros que en ocasiones son de decenas de kilómetros cuadrados, las especies de pino con las que se asocia son principalmente *P. arizonica* Engelm, *P. leiophylla* Benth, *P. durangensis* Martínez, *P. chihuahuana* Engelm, *P. cooperi* Blanco, *P. teocote* Schl. et. Cham. y *P. ponderosa* Dougl. Sus rangos altitudinales son variables desde los 1600 hasta 2400 msnm; crece principalmente en suelos de tipo feozem haplico y luvisol, el primero con abundante materia orgánica, aunque también se le encuentra en los denominados feozem luvico, litosol crómico, luvisol órtico y vertisol pélico; de textura fina, sin fase física y con pendientes suaves de entre 0 y 5° principalmente. Se localiza en climas templados con precipitaciones variables de 600 a 1500 mm, con temperatura media entre 12° y 16° C (Cruz, 2001).

2.4.3 Importancia

Es una especie muy importante en términos comerciales, ya que se identifica por su madera de alta calidad industrial, la cual es de color amarillo pálido, con el duramen amarillo obscuro poco más que la albura, la madera de verano es de color café pálido y con transición gradual entre la madera temprana y la madera tardía. Canales resiníferos abundantes y distribuidos en la parte final de cada anillo de crecimiento (Eguiluz, 1978).

2.5 Muestreo

El muestreo en las ciencias biológicas y físicas puede ser frecuentemente ejecutado bajo condiciones experimentales controladas, tal control es casi imposible en el manejo de recursos naturales, lo mismo que en las ciencias sociales y el comercio. El muestreo es una herramienta muy útil en la realización de inferencias sobre poblaciones, mediante el muestreo es posible conocer a la población a través de la información contenida en una muestra (Scheaffer *et al.*, 1986). Existen diversos tipos de muestreo, entre los más comunes se encuentran: el muestreo aleatorio, el muestreo aleatorio estratificado, el muestreo sistemático, el muestreo por conglomerados, y el muestreo bietápico, entre otros, los cuales se aplican en diferentes campos de la investigación, de acuerdo a necesidades y recursos disponibles (Scheaffer *et al.*, 1986).

2.5.1 Muestreo sistemático

En este tipo de muestreo la primera unidad de muestreo se escoge de manera aleatoria (Abad y Servín, 1993) las subsiguientes unidades se toman en línea con referencia a la primera muestra (Azorín, 1969). Por su parte Freese (1969) menciona que para este muestreo, sólo la primera unidad se localiza aleatoriamente, ya que las siguientes muestras siguen un patrón de orden.

2.6 Correlación

Steel y Torrie (1988) mencionan que la correlación es una medida con la cual se determina el grado en que dos variables se asocian o varían entre sí, y se representa con la letra r . El rango de coeficiente de correlación se encuentra entre los valores 1 y -1, lo que significa, que si el valor de r es cercano a 1, las dos

variables están relacionadas de manera positiva (las variables tienden a crecer o decrecer simultáneamente); por lo contrario si el valor de r es cercano a -1 , quiere decir que la relación entre las variables es negativa, pero si el valor de r es cercano a 0 , indica que no hay correlación entre las variables, esto lleva a decir que si para una variable los valores de correlación son altos, los valores para la otra variable serán bajos y viceversa.

III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Ubicación geográfica

El área de estudio se encuentra localizada al Suroeste del estado de Chihuahua (Figura 1) la región que comprende la Sierra Tarahumara se localiza geográficamente entre las coordenadas $106^{\circ} 03' 00''$ a $109^{\circ} 07' 00''$ de longitud Oeste y entre los $25^{\circ} 56' 00''$ y $29^{\circ} 26' 00''$ de latitud Norte (INEGI, 1981; UAAAN, 1999).

La región Tarahumara cuenta con una superficie aproximada de $71,231 \text{ km}^2$, la elevación altitudinal promedio del área es aproximadamente de 2500 msnm , aunque también se encuentran elevaciones menores a los 2000 msnm , éstas se encuentran principalmente sobre valles y mesetas. La Sierra Tarahumara comprende una gran variedad de condiciones ecofisiográficas representadas básicamente por cuatro subsistemas; barrancas y tierras bajas; valles y mesetas; serranías y subsistemas montañosos (INEGI, 1981; UAAAN, 1999).

Fisiografía

El área de estudio se encuentra ubicada dentro de la gran provincia de la Sierra Madre Occidental, la cual forma una gran planicie de rocas volcánicas con angostas depresiones estructurales entre serranías de cima suave, mesas y mesetas; segmentadas por gargantas de corrientes transversales que fluyen a través de barrancas profundas hacia las tierras bajas de la costa del pacífico

Geología

La región Tarahumara se encuentra ubicada dentro de la unidad geotectónica más importante del Noroeste de México, como lo es la provincia geológica de la Sierra Madre Occidental, misma que comprende un substrato basal prevolcánico y potente conjunto de rocas volcánicas. Los materiales que más sobresalen son: minerales de cuarzo, feldespatos alcalinos, plagiosas sódicas, feldespatos potásicos, plagiosas alcalinas, ferromangnesianos y feldespatiodes. El espectro geológico de la Sierra Tarahumara, básicamente se encuentra formado por rocas ígneas extrusivas ácidas, en un 65.64%, rocas ígneas extrusivas básicas en un 19.18%, por conglomerados en un 11.07% y por reducidos porcentajes de roca caliza, caliza lutita e ígnea intrusiva. (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Hidrología

En cuanto a hidrología, la Sierra Tarahumara se encuentra integrada por cuatro regiones hidrológicas que son: Río Bravo-Conchos (RH24); Sinaloa (RH10); Sonora (RH9); y cuencas cerradas del Norte (RH34). Las más importantes por su superficie son: RH9, RH10 y RH24, estas regiones hidrológicas comprenden a su vez a diez subcuencas, siendo las más importantes; la subcuenca del Río Fuerte (RH10-G) y la subcuenca del Río Yaqui (RH9-B). El potencial hidrológico de la Sierra Tarahumara está integrado por las fuentes de agua de las cuencas endorréicas de los depósitos de agua de las lagunas y presas y aguas subterráneas, que a su vez son alimentadas por una precipitación media anual de 470 mm (Consejo de Recursos Minerales, 1994). Las corrientes superficiales presentes dan origen a las corrientes de la vertiente del Golfo de California, donde

los tributarios que predominan por su caudal corresponden al Río Mayo, Río Fuerte, Río Yaqui y Río Sinaloa, los cuales alimentan a las cuencas que dan riqueza a las zonas agrícolas de los estados de Sinaloa y Sonora. Otras corrientes de agua importantes son los ríos; Urique, San Miguel, Otero, Septentrión, Río Verde, Bazonap y Candameñas, entre otros (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Todas las fuentes y cuerpos de agua que se encuentran presentes en el área de estudio, son de gran importancia económica para el desarrollo de las actividades productivas tanto forestales como agropecuarias (Consejo de Recursos Minerales, 1994).

Edafología

De acuerdo con INEGI (1981) la caracterización de los tipos de suelos que se encuentran presentes en el área corresponden a unidades predominantes de suelo del tipo feozem háplico en la parte Norte y centro de la región de estudio, ocupando un 24.67%, el regosol eútrico se encuentra en el extremo Sur y la parte central, ocupando un 25.75%, y por último el litosol en la parte occidental del área y ocupa un 30.29% del total del área de estudio.

Clima

En el área de estudio se encuentran representados básicamente tres tipos de climas templado húmedo (C); cálido húmedo (A); y el clima seco (B); las tres con pequeñas variaciones (UNAM, 1970). Los climas templados se caracterizan por tener inviernos benignos, en donde las temperaturas medias anuales varían entre 10°C y 18°C , y con temperaturas medias del mes más caliente superior a los 18°C y la temperatura media del mes más frío inferior a los 10°C , recibiendo una buena cantidad de lluvia en el invierno. Este tipo de clima se distribuye sobre las mesetas, cañadas y llanuras (UNAM, 1970).

El clima cálido húmedo se caracteriza por presentar temperaturas del mes más frío superior a los 18°C , en este clima se encuentran las plantas tropicales que

requieren temperaturas altas y constantes, y que además requieren de una abundante precipitación, son plantas megatermas que son susceptibles a las bajas temperaturas. La precipitación media anual de este tipo de clima es de 600 mm, se distribuye sobre los cañones de la sierra (UNAM, 1970).

Los climas secos se caracterizan porque los niveles de evaporación sobrepasan los niveles de lluvia que se recibe en el área, además de que la precipitación no es suficiente o no alcanza para alimentar corrientes de agua permanentes. Aquí las temperaturas medias anuales son superiores a los 22⁰C y la temperatura de mes más frío es superior a los 18⁰C, este clima se distribuye principalmente sobre los valles y lomeríos del área de estudio (UNAM, 1970).

Vegetación

INEGI (1981) reporta que para la Sierra Tarahumara del estado de Chihuahua los bosques de pino son los más predominantes, siendo las especies más importantes: *Pinus engelmannii*, *P. arizonica*, *P. durangensis*, *P. reflexa* Engelm, y *P. lumholtzii* Rob. et Fern., estos bosques se localizan por lo general a altitudes de 1600 a 2400 msnm, en altitudes más bajas se encuentran presentes los bosques de *Quercus* en asociación con *Arbutus* y en altitudes mayores se localizan los bosques de *Pseudotsuga*, *Abies* y *Picea* (Cruz, 2001).

3.2 Trabajo de campo

3.2.1 Planeación del recorrido

Tomando como base, que el área de estudio cuenta con una superficie de más de 71,000 km² y la variedad de la vegetación existente, así como las limitantes de tiempo y recursos del proyecto, y para facilitar propiamente el trabajo de campo de una zona a otra, se determinó con anticipación utilizar la red de caminos existentes en el área para planear el muestreo, para lo cual se ubicaron en un mapa las principales carreteras, terracerías y brechas transitables.

Para el presente trabajo la red de caminos predeterminada, sirvió como rutas al momento del levantamiento de la información. El recorrido y colecta de los datos fue realizado por dos brigadas de trabajo, una brigada fue ubicada en la zona Norte y la otra se ubicó en la zona Sur, de manera tal que al partir por diferentes puntos se cubriera todo el área de interés.

2.2.2 Método de muestreo

El método de muestreo utilizado en el presente estudio, fue de tipo sistemático-selectivo, el cual permite la selección de las unidades de muestreo en forma rápido y precisa, se eligió este tipo de muestreo, ya que fue el que mejor se adaptó, considerando para ello, factores como tiempo, recursos, superficie del área, así como formas biológicas y fisiográficas de la Sierra.

3.2.3 Muestreo de sitios

Con la red de caminos preestablecida, se ubicaron los sitios de muestreo, para ellos se partía en un punto de cada ruta y cada cuatro kilómetros se ubicaba un punto de muestreo, a una distancia de 300 a 600 metros de la orilla del camino y dentro del bosque o área arbolada. En el recorrido se levantaron 48 sitios de *Pinus engelmannii*, de los cuales 33 sitios fueron empleados en el presente trabajo, ya que el resto se trató de muestras dañadas, faltantes o con clasificación equivocada. Los 33 sitios de muestreo corresponden a las cuatro regiones de distribución de *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara. El número de sitios, la cantidad árboles y los municipios que conforman cada región se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Regiones estudiadas con número de sitios, árboles y municipios que abarcan cada una ellas.

Región	Sitios	# de árboles	Municipios
Madera	15	75	La Norteña, Las Varas, La Ciénega y Madera
Basaseáchic	9	40	Tomochi, Yepachi, Basaseachi, Tonachi y Pico real
San Rafael	5	25	Samachique, San Rafael, Bahuichivo y Cusarare
Guachochi	4	20	El rosado, Guachochi y Baquiriachi

En los sitios de muestreo, se levantó información no sólo de *Pinus engelmannii*, sino también de *Pinus arizonica* y *Pinus durangensis* cuando se encontraban asociadas con *Pinus engelmannii* ya que son las especies de mayor interés de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

3.2.4 Muestreo del arbolado

Una vez determinados los sitios de muestreo, en cada uno de ellos se procedió a la elección de cinco árboles de *Pinus engelmannii*, con las siguientes características: que fueran árboles dominantes o codominantes, libres de plagas y enfermedades, no podados y sin evidencias de daños por fuegos. Para cada árbol selecto se tomaron los siguientes datos: altura total, altura de fuste limpio, diámetro normal, grosor de corteza y edad.

De cada árbol se extrajo una viruta con el taladro de Pressler, en cada una de ellas se anotó el número de árbol, la ruta y número de sitio. Las virutas fueron colocadas en popotes con perforaciones y se les aplicó fungicida para prevenir posibles daños por hongos. El total de muestras obtenidas fue de 160 árboles, de los cuales 157 fueron analizados en este trabajo.

2.2.5 Zonificación de regiones

El área de estudio fue dividida en cuatro regiones con base en los sitios de muestreo. Esto es, vistos en un mapa los sitios de muestreo se concentraban en cuatro áreas (Figura 2), que se denominaron regiones y se les dio un nombre de referencia, los cuales fueron, de Norte a Sur: Madera, Basaseáchic, San Rafael y Guachochi.

3.3 Trabajo de laboratorio

3.3.1 Saturación y seccionado de las muestras

Las virutas (muestras) obtenidas en campo fueron sometidas a un proceso de saturación en un recipiente con agua, por un periodo de 100 días

aproximadamente, hasta alcanzar el punto de saturación de las fibras. Para comprobar la saturación, las muestras fueron pesadas a intervalos de 72 horas, en una balanza analítica con aproximación de diez milésima de gramo hasta que los pesos fueron constantes en cada una de las muestras. Para estimar la edad de los árboles se contó el número de anillos de cada viruta a partir del centro. Se realizó

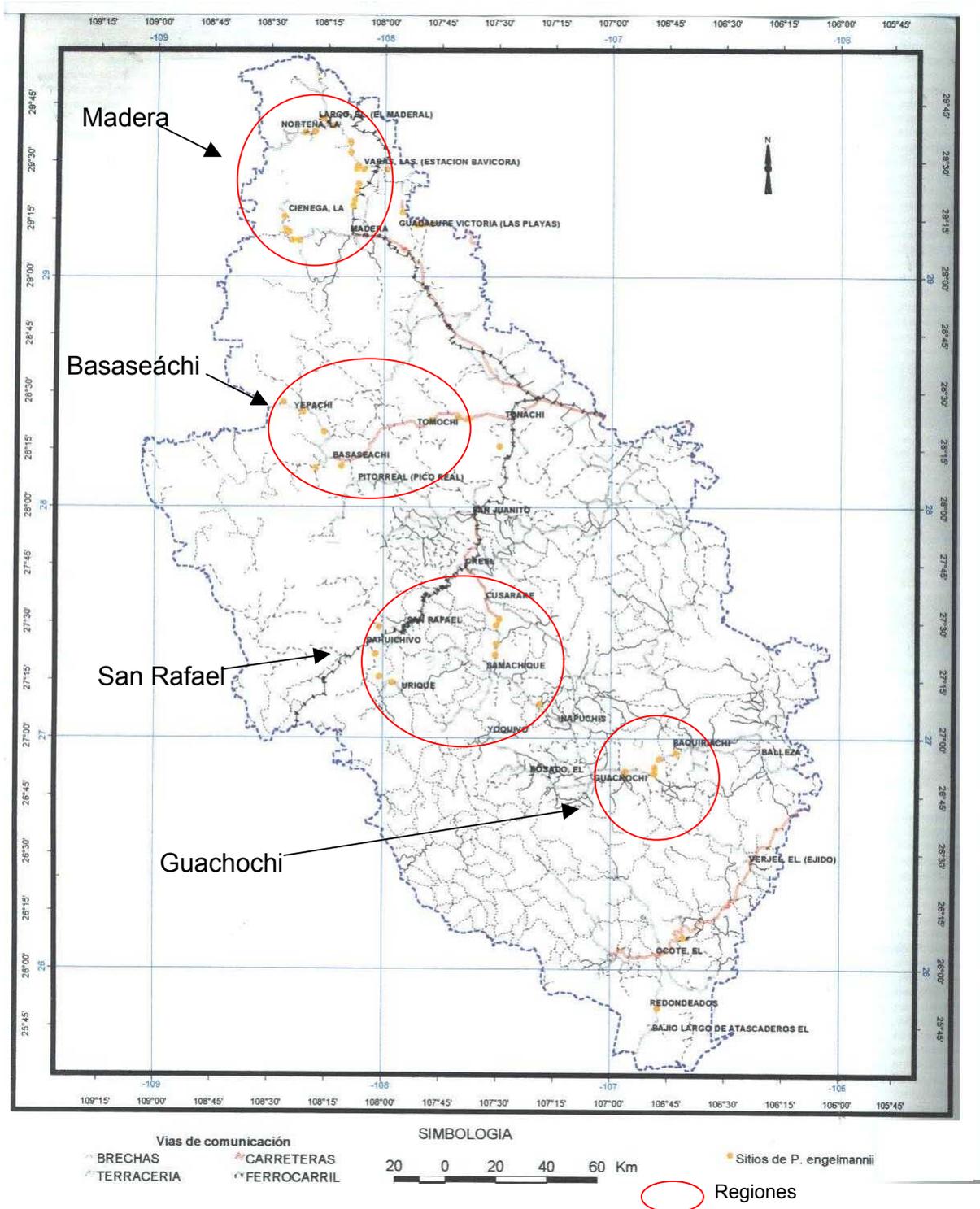


Figura 2. Mapa de distribución de los sitios de muestreo de *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

un seccionado de las muestras a partir del centro (médula) de la muestra hacia la corteza, cada sección comprendió un total de 20 anillos, las secciones fueron marcadas en orden alfabético de la A a la G con un lápiz grueso, donde se consideró como sección A a los primeros 20 anillos contados a partir del centro (médula), posteriormente estas muestras fueron colocadas en bolsitas agujeradas y luego puestas en un recipiente con agua para evitar su deshidratación, cada bolsita y muestra fueron etiquetadas en apego a la ruta, sitio, árbol y sección.

3.3.2 Medición de madera temprana y madera tardía

De cada sección se tomaron 6 anillos, los primeros tres y los últimos tres para obtener un promedio, considerándolos como representativos de los 20 anillos. En la medición de cada uno de estos anillos se registró su longitud total y la longitud correspondiente a la madera tardía (parte más oscura del anillo), esta medición se realizó con la ayuda de un microscopio-estereoscopio el cual cuenta en uno de sus objetivos con un micrómetro o regla graduada. Para determinar que porción de cada anillo correspondía a madera tardía, se le restó a la longitud total del anillo la longitud de la madera temprana (parte más clara del anillo), y así estimar para cada muestra la proporción de madera tardía. Posteriormente para determinar la proporción de madera tardía se dividió la longitud total de madera tardía entre la longitud total del anillo.

También se obtuvo el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) mediante la suma de la longitud total de los seis anillos, multiplicado por 2 (diámetro normal), y el resultado de ésta operación se dividió entre 6 (# de anillos). Se uso un factor de corrección de 0.09 mm.

3.3.3 Determinación de la densidad de la madera

Posterior a la saturación de las virutas (muestras) se procedió a determinar la densidad de la madera, a través de la obtención de los pesos saturados o verde y los pesos anhidros o secos de cada viruta. Para los pesos saturados, las muestras fueron colocadas en un paño para quitar el exceso de humedad y luego fueron pesadas en una balanza analítica con una precisión de diez milésima de gramo obteniendo así los pesos verde o saturados, posterior a ello, las muestras fueron colocadas en pequeñas charolas de papel aluminio, en donde cada charola fue etiquetada por ruta, sitio, árbol y número de sección. Enseguida las charolas con las muestras fueron sometidas a un proceso de secado en una estufa a una temperatura de $105 \pm 5^{\circ}\text{C}$ por un tiempo de 72 horas. A partir del momento en que las muestras fueron sacadas de la estufa, fueron colocadas en un recipiente llamado campana de desecación con silicagel y se les dejó reposar por 15 minutos antes de ser pesadas; ésto para evitar que adquirieran humedad ambiental. Determinando así los pesos secos o anhidros de cada sección. Estas muestras ya secas se pesaron en la misma balanza donde fueron pesadas las muestras saturadas.

Con los datos obtenidos de los pesos tanto secos como saturados, se determinó la densidad de la madera, mediante el método de máximo contenido de humedad, el cual emplea la siguiente fórmula (Smith, 1954).

$$DM = \frac{1}{\frac{Ps - Pa}{Pa} + 1.53}$$

donde:

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

Ps = peso verde o saturado (g)

Pa = peso seco o anhidro (g)

1.53 = valor constante (gravedad específica de la madera sólida)

3.4 Procesamiento y análisis estadístico

En una computadora se creó una base de datos en el paquete computacional SAS (Statistical Analysis System, versión 6.04) correspondiente a los datos obtenidos del laboratorio, mismos que después fueron procesados y analizados.

Del análisis estadístico de los datos de laboratorio se obtuvieron tres variables: densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN). Cabe señalar que el análisis de varianza se realizó sólo hasta el periodo de 80 años, debido a que algunas muestras no contaban con sus cinco secciones de 20 años y para utilizar edades uniformes en lo posible. Para cada una de las variables se realizó un análisis de varianza considerando un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, donde cada región corresponde a un tratamiento. El modelo aplicado fue:

$$Y_{ij} = \mu + R_i + \epsilon_{ij}$$

$i = 1,2,3,4$ (regiones)

$j = 1,2,3,4,\dots,75$ (número máximo de árboles dentro de cada región)

Donde:

Y_{ij} = valor observado

μ = efecto de la media general

R_i = efecto de la i -ésima región

ϵ_{ij} = efecto del j -ésimo árbol en la i -ésima región (error experimental)

El número de muestras tomadas por cada región y por sitio varía, dado que se seleccionaron las mejores muestras, considerando aquellas que no mostrasen alteraciones debido a su alto contenido de resinas, que los rangos de edad fueran no muy pequeños (20 años), o bien que sobrepasen las cuatro primeras secciones

(80 años) de la viruta. Obteniendo de esta forma datos que fuesen lo más uniforme posible, es decir con edades uniformes.

Para este modelo se tienen los componentes de varianza que muestran los cuadrados medios esperados (Cuadro 2) para cada una de las tres variables; densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN).

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados para las densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal en cada una de las regiones.

F.V	g.l.	C.M.	Cuadrados medios esperados
Región	R - 1	CMR	$\sigma^2_e + K \sigma^2_{Reg.}$
Error	$\Sigma(n_i - 1)$	CME	σ^2_e

F.V.= fuente de variación; g.l.= grados de libertad; C.M.= cuadrados medios; CMR= cuadrado medio de la región; CME= cuadrado medio del error; R= Número de regiones; n_i = número de árboles por región; σ^2_e = varianza del error; $\sigma^2_{Reg.}$ = varianza de la región; K= media armónica del número de árboles por región.

Para conocer el tipo y grado de variabilidad dentro de cada región, se recurrió al procedimiento de análisis jerárquico o anidado; el cual consiste en determinar la variación entre grupos que pueden ser grandes o pequeños e incluso entre individuos y dentro de individuos (Zobel y Talbert, 1988). El modelo estadístico utilizado para las tres variables en estudio fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + R_i + S_j(R_i) + A_k(S_j R_i) + \epsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = valor observado

μ = efecto de la media general

R_i = efecto de la i - ésima región

$S_j(R_i)$ = efecto del j - ésimo sitio dentro de la i - ésima región

$A_k(S_j R_i)$ = efecto del k - ésimo árbol en el j - ésimo sitio en la i - ésima región

ϵ_{ijkl} = efecto de la l - ésima muestra (sección de viruta) en el k - ésimo árbol en el j - ésimo sitio en la i -ésima región (error experimental).

De este modelo se obtienen, los componentes de varianza que muestran el efecto de cada región, el efecto del sitio dentro de la región y el efecto de árboles dentro de sitios (Cuadro 3).

3.5 Correlaciones

Se realizaron análisis de correlación de las variables densidad de la madera (DM), Cuadro 3. Componentes de los cuadrados medios esperados para la densidad de la madera, proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal para un modelo anidado o jerárquico.

F. V.	g. l.	C. M.	Cuadrados medios esperados
Región	R-1	CMR	$\sigma^2 e + K \sigma^2 \text{ Arb(Reg(Sitio))} + K_1 \sigma^2 \text{ Sit(Reg)} + \sigma^2 K_2 \text{ Reg.}$
Sitio (Región)	R (ns-1)	CMS	$\sigma^2 e + K \sigma^2 \text{ Arb. (Reg. (Sitio))} + K_1 \sigma^2 \text{ Sit (Reg.)}$
Árbol (Sitio)	R (na-1)	CMA	$\sigma^2 e + K \sigma^2 \text{ Arb. (Reg. (Sitio))}$
Error	$\Sigma (\text{cm}-1)$	CME	$\sigma^2 e$

F.V= fuentes de variación; g.l.= grados de libertad; C.M.= cuadrados medios; CMR= cuadrados medios de las regiones; CMS= cuadrados medios de los sitios; CMA= cuadrados medios de los árboles dentro de los sitios; CME= cuadrados medios del error; R= número de regiones; ns= número de sitios por región; na= número de árboles dentro de sitios por región; nm= número de muestras por árbol dentro de sitios por región; $\sigma^2 e$ = varianza del error; $\sigma^2 \text{ Arb(Reg(Sitio))}$ = varianza de árboles dentro de las poblaciones; $\sigma^2 \text{ Sitio (Región.)}$ = varianza de sitios dentro regiones; $\sigma^2 \text{ Reg}$ = varianza de las regiones; K= constante de ajuste de la media armónica del número de árboles dentro de las regiones; K_1 = constante de ajuste de la media armónica del número de sitios dentro de las regiones; K_2 = constante de ajuste de la media armónica del número de muestras (sección) por región.

proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) entre ellas y con datos dasométricos y de sitio. Los datos dasométricos fueron: diámetro normal (DN), altura total (HT), altura de fuste limpio (HF), grosor de corteza (GC) y edad; y los datos de sitios asociados fueron: latitud (LAT), longitud (LOG), altitud (ALT), pendiente (PEND), área basal por hectárea (AB/ha), profundidad de suelo (PROFS), pedregosidad (PEDREG) materia orgánica (MO) y grosor de hojarasca (HOJCM).

El levantamiento de la información por árbol se realizó de la siguiente manera, a cada árbol seleccionado se le registró su altura total y altura de fuste limpio con la ayuda de una pistola Haga, el diámetro normal se obtuvo usando una cinta diamétrica, para el grosor de corteza se usó un medidor de corteza y la edad del árbol se determinó por medio del conteo del número de anillos presentes en las muestras (virutas) extraídas con el taladro de Pressler. Para el caso de los datos de sitios, la metodología fue la siguiente; la profundidad del suelo se midió con una varilla metálica, la pedregosidad y materia orgánica fueron tomados en porcentaje de acuerdo a su presencia en el sitio, la pendiente se determinó con un clinómetro o con la pistola Haga y con la ayuda de un geoposicionador se obtuvieron las coordenadas UTM del sitio, así como la altitud.

IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión

En el Cuadro 4 se presenta la media, los valores máximos y mínimos, así como la desviación estándar, el error estándar y el coeficiente de variación para la densidad de la madera, proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal.

Cuadro 4. Medidas de tendencia central y de dispersión para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) de *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

Variable	n	Valor Mínimo	Media	Valor Máximo	S	Error estándar	CV (%)
DM (g cm ⁻³)	638	0.186	0.446	0.662	0.068	0.00269	15.18
PMT	638	0.092	0.280	0.468	0.074	0.00293	26.54
ICA-DN (mm año ⁻¹)	638	1.74	4.931	13.98	2.064	0.0817	41.85

N= número de observaciones, S= desviación estándar de la media, C.V.= coeficiente de variación en porcentaje

En el presente trabajo, el valor promedio encontrado de la densidad de la madera de *Pinus engelmannii* es de 0.446 g cm⁻³. En la literatura consultada, no se reportan estudios sobre la densidad de la madera de esta especie e incluso Cevallos y Carmona (1981) en un estudio sobre un grupo numeroso de coníferas

en el que se incluye a *Pinus engelmannii*, hacen referencia a varias características de la madera de esta especie, pero no reportan el valor de la densidad de la madera. Martínez (1948) reporta para especies de pinos del grupo ponderosa valores entre 0.37 g cm^{-3} para *Pinus jeffreyi* Grw. et Balf. hasta 0.50 g cm^{-3} para *Pinus arizonica*, cabe mencionar que dentro del grupo ponderosa, se encuentra *Pinus engelmannii* sólo que no se reportan sus valores de densidad de la madera. De acuerdo con la clasificación la densidad de la madera dada por Markward y Heck (Tomado de Echenique y Díaz, 1969), *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara Chih., se clasifica como una madera "moderadamente pesada". Por otro lado, Cevallos y Carmona (1981) mencionan que la madera de esta especie puede usarse como madera aserrada, triplay, duelas, para ebanistería, para cajas de empaque, para muebles, construcciones, fabricación de casas y cabañas, postes de teléfono, postes para cercas y pulpa para papel, durmientes, pilotes para minas y leñas para la combustión.

Zobel y Talbert (1988) señalan que la densidad de la madera tiene amplia variación entre diferentes especies. Así por ejemplo, *Alnus arguta* Spach 0.36 g cm^{-3} y *Lonchocarpus castilloi* Stand 0.792 g cm^{-3} (Cevallos y Carmona, 1981). Aún dentro de las coníferas existe variación importante entre especies, por ejemplo: 0.35 g cm^{-3} para *Pinus strobus chiapensis* Martínez (Yáñez y Caballero, 1982), 0.42 g cm^{-3} para *P. arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chih. (Arroyo, 2001), 0.474 g cm^{-3} para *P. greggii* (López, 1997), 0.477 g cm^{-3} para *P. teocote* Schl et Cham. de la Trinidad, Montemorelos N. L. (Trujillo, 1999) y 0.53 g cm^{-3} para *P. rudis* Endl. de Arteaga Coah. (Valencia y López, 1999), entre otros.

Es probable que los valores de densidad de la madera estén influenciados por el ambiente y relacionados con la velocidad de crecimiento. Así por ejemplo, se sabe que *Pinus rudis* de Arteaga, Coah., es de crecimiento lento dado que crece en climas templados comparado con *Pinus strobus* que es de crecimiento más rápido y crece en climas más cálidos, en tanto que *Pinus arizonica*, *Pinus teocote* y *Pinus greggii* del Norte de México son de crecimiento intermedio comparado con las

otras especies, lo cual refleja de algún modo que hay una tendencia de correlación negativa entre la densidad de la madera y la velocidad de crecimiento como lo señalan Daniel *et al.* (1982) y Zobel y Talbert (1988); esto es, se considera que en algunas especies, velocidades de crecimiento altas tienden a provocar una disminución en la densidad de la madera y viceversa (Valencia y Vargas, 2001).

Por otro lado, Daniel *et al.* (1982) mencionan que desde el punto de vista de producción maderable, la disminución de un 5% en la densidad de la madera da como resultado de 10 a 20% menos de resistencia de la madera a la flexión y/o compresión. Creber y Chaloner (1984) mencionan que existen otros factores como los ambientales que también contribuyen a la variación de esta propiedad de madera.

La densidad de la madera presenta una desviación estándar (S) de 0.068 g cm^{-3} que si se considera como una distribución normal se tiene que alrededor del 95% de la población presenta una densidad entre 0.31 g cm^{-3} y 0.582 g cm^{-3} , y presenta un error estándar de 0.00268. En otros estudios se reportan valores más bajos como por ejemplo, Valencia (1994) 0.00055 para una plantación con material seleccionado de *Pinus patula* Schl. *et.* Cham. de Veracruz, otros autores reportan valores similares al encontrado en este trabajo, por ejemplo; Arroyo (2001) 0.0019 para *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chihuahua, pero sin duda existen otros autores que reportan valores más altos, como Vaca (1992) 0.046 para *Pinus cembroides* Zucc. de la región de Santiago Papasquiaro, Durango. Como puede notarse el valor encontrado en el trabajo que nos ocupa, es un valor intermedio comparado con los otros estudios, esto da paso a deducir que la densidad de la madera es una característica variable entre especies, como lo mencionan Zobel y Talbert (1988), y esta variación suele ser muy útil para los programas de mejoramiento genético, ya que se puede manipular para obtener las características deseadas.

Otra de las características importantes de la madera, es la proporción de madera tardía que para este estudio muestra un valor promedio de 0.280, con un máximo de 0.468 y un mínimo de 0.092. Presenta una desviación estándar (S) de 0.074, que si se considera como una distribución normal se tiene que alrededor del 95% de población presenta valores entre 0.132 y 0.428 de proporción de madera tardía.

La proporción de madera tardía es una característica que presenta mucha variación, además de que está correlacionada de forma positiva con el crecimiento estacional del árbol, lo cual quiere decir que durante el otoño se produce una mayor cantidad de madera tardía y que además depende del clima y de la humedad del suelo. La proporción de madera tardía por lo regular ejerce gran influencia sobre la densidad de la madera de igual forma en la variación de esta característica entre y dentro de árboles y entre sitios (van Buijtenen,1964). Los cambios ambientales que se dan en una región de manera sucesiva de un año a otro, son los que dan como resultado tanto la proporción de madera tardía como temprana, además de que existen cambios dentro de un mismo árbol, es decir que la proporción de madera tardía es mucho menor en el centro del árbol respecto de la proporción cercana a la corteza (Creber y Chaloner, 1984).

En cuanto a incremento corriente anual en diámetro normal se refiere, en este estudio tuvo un valor promedio de 4.93 mm año^{-1} , con un valor máximo de $13.98 \text{ mm año}^{-1}$ y un mínimo de 1.74 mm año^{-1} , presenta una desviación estándar (S) de 2.06 mm año^{-1} , que si se considera como una distribución normal se tiene que alrededor del 95% de la población presenta valores de incremento corriente anual en diámetro normal entre 0.81 mm año^{-1} y 9.05 mm año^{-1} .

Creber y Chaloner (1984) mencionan que una de las características importantes de los árboles es el continuo crecimiento o desarrollo, ya que por naturaleza los árboles pasan de ser una simple semilla a formar rodales y bosques. En las coníferas se dan periodos de crecimiento estacional, lo cual tiene una estrecha relación con el crecimiento de los anillos y es ahí donde se presenta la primer

variación en el crecimiento, ya que la gran mayoría de los árboles exhiben una variación anual en la producción fotosintética y actividad del cambium entre el invierno y el verano, lo que afecta el tamaño de las células recién formadas, las que finalmente repercuten en el incremento corriente anual del árbol (Daniel *et al.*, 1982).

Se conoce que en árboles vigorosos los anillos de crecimiento son progresivamente más angostos a medida que desciende en el tallo, pero que se extiende nuevamente cerca de la base, en árboles suprimidos o de lento crecimiento la longitud total de los anillos de crecimiento es mucho menor que en árboles vigorosos y esto se debe a la escasa o casi nula cantidad de madera que se produce a causa de diversos factores (Daniel *et al.*, 1982).

Al analizar los valores de las medidas de tendencia central y de dispersión presentados en el Cuadro 4, puede notarse que la variable incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) es la que presenta mayor coeficiente de variación (41.85%) en comparación con la densidad de la madera (DM) (15.18%) y la proporción de madera tardía (PMT) (26.54%), lo cual indica que el ICA-DN es la característica con mayor variación, semejante a lo que reporta Arroyo (2001) en un estudio de *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chih., donde evaluó estas mismas tres variables. Por su parte, Zobel y Talbert (1988) mencionan que cualquier factor que afecte la fisiología y el crecimiento del árbol va a repercutir de algún modo sobre el tipo de madera que se esté formando, lo que finalmente se refleja en la productividad del rodal.

4.2 Tendencias a través de la edad

4.2.1 A nivel general

La densidad de la madera, de manera general, tuvo valores decrecientes del centro del árbol hacia la corteza (Figura 3), donde el valor más alto se encontró en el centro del árbol, debido probablemente a que puede estar relacionado con la

presencia de extractivos en el duramen como lo mencionan Wiemann y Williamson (1989).

López (1997) encontró que para *Pinus greggii* del Norte de México, la densidad de la madera tiene una tendencia creciente del centro hacia la corteza, dado que en el centro se encontró 0.46 g cm^{-3} y al final se obtiene 0.48 g cm^{-3} , mostrando de alguna manera que la densidad de la madera aumenta con el tamaño del árbol,

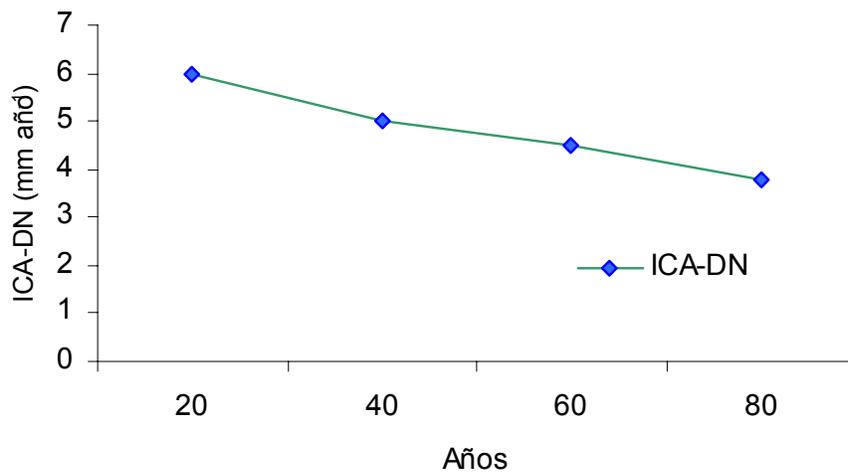
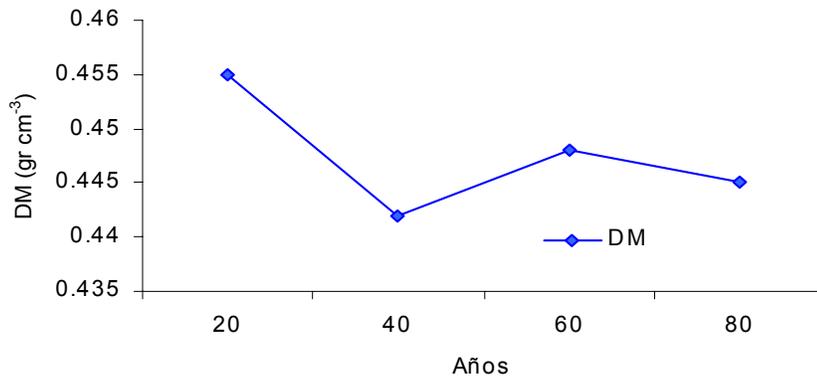


Figura 3. Tendencia general de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, en función de la edad.

asumiendo que la forma de crecimiento del árbol influye sobre las propiedades de la madera . De igual manera, Zobel y van Buijtenen (1989) encontraron en *Pinus taeda* L. que la densidad de la madera va aumentando en forma moderada con la edad (0.33 g cm⁻³ a los 7 años, 0.37 g cm⁻³ a los 10 años, 0.42 g cm⁻³ a los 15 años, 0.45 g cm⁻³ a los 20 años, 0.47 g cm⁻³ a los 25 años y 0.48 g cm⁻³ a los 30 años).

En este estudio, la densidad de la madera muestra una tendencia en forma de zig zag, dado que el valor promedio para el centro del árbol fue de 0.455 g cm⁻³, seguidamente se observa una disminución a 0.442 g cm⁻³, pero posteriormente vuelve a aumentar a 0.448 g cm⁻³ y para la parte más cercana a la corteza el valor vuelve a disminuir a 0.445 g cm⁻³. En *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chih., Arroyo (2001) reporta valores crecientes del centro del árbol hacia la corteza, pero además obtuvo un valor ligeramente alto para el centro del árbol, algo similar se encontró en este trabajo.

La proporción de madera tardía presentó en forma general una tendencia de aumento progresivo del centro hacia la corteza (Figura 3), ya que para el centro se encontró un valor de 0.255, en tanto que para la parte más cercana a la corteza el valor encontrado fue de 0.335. Algunos estudios concuerdan con los resultados del presente trabajo, como por ejemplo; Arroyo (2001) encontró para *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara Chihuahua, una proporción de madera tardía con tendencia creciente del centro hacia la corteza. Pero existen otros autores que han encontrado un comportamiento contrario de esta característica, como lo

muestran Zobel y Talbert (1988) para *Pseudotsuga*, donde la proporción de la madera tardía decrece, ya que a los 7 años tuvo un valor de 0.38 y a los 11 años presentó un valor de 0.21, en este caso se pudiera deberse a que se trata de una especie tolerante.

Zobel y Talbert (1988) mencionan que algunos árboles comienzan a formar células de pared gruesa de la madera de verano a principios de la temporada de crecimiento y otros más tarde. Lo que indica que la proporción de madera tardía dentro del árbol y entre árboles puede variar de manera constante aún cuando éstos se encuentren creciendo en un mismo lugar.

El incremento corriente anual en diámetro normal en este estudio, presentó una tendencia decreciente del centro hacia la corteza (Figura 3), notándose que es completamente inverso a la tendencia de la proporción de madera tardía, como lo muestran los valores encontrados, pues el valor más alto fue para el centro del árbol con $6.0 \text{ mm}^{-1} \text{ año}$ en tanto que para la parte más externa el valor fue de 3.8 mm año^{-1} . Por su parte, Arroyo (2001) en *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara Chih., encontró una tendencia decreciente de esta característica, semejante a la tendencia encontrada en este estudio.

Klepac (1976) y Swian *et al.* (1983) mencionan que el crecimiento en diámetro es pequeño en los primeros años de vida del árbol, por lo que mayormente crece en altura, pero que además este mismo comportamiento se presenta en árboles viejos o que crecen con demasiada competencia, ambos autores atribuyen este tipo de tendencia a la forma del árbol ya que a tempranas edades, la copa es pequeña y la exposición de nutrientes es mucho menor, por consiguiente en árboles viejos existe la autopoda lo que provoca disminución de los incrementos al reducirse el tamaño de la copa.

4.2.2 A nivel de regiones

Los resultados sobre la tendencia de la densidad de la madera (DM), la proporción

de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) de *Pinus engelmannii* a través de la edad entre regiones de la Sierra Tarahumara, Chih., se presentan de manera separada para cada una de las variables.

Densidad de la madera

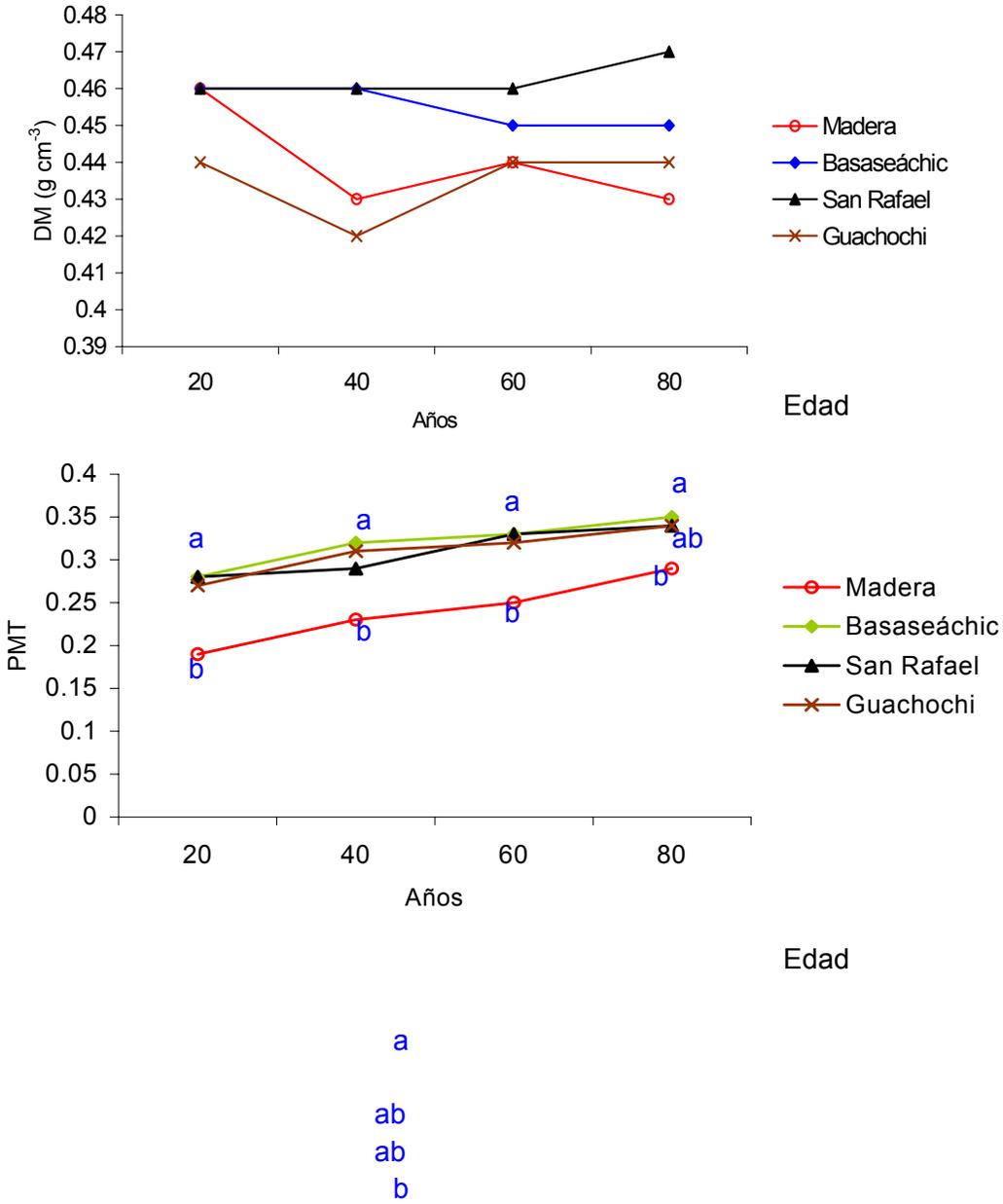
De acuerdo con los valores obtenidos para esta característica, parece ser que para las regiones de Madera, Basaseáchic y Guachochi, la densidad de la madera tiende a disminuir, con un rango de valores de 0.46 a 0.44 g cm⁻³, mientras que para la región de San Rafael se observa un ligero aumento de la parte central hacia la corteza y cuyo rango de valores de 0.46 a 0.47 g cm⁻³ (Figura 4). Sin embargo las pruebas estadísticas muestran que no hay diferencias en la densidad de la madera a través de la edad en las cuatro regiones estudiadas. La tendencia encontrada para la región de San Rafael puede ser debido a sus condiciones climáticas, pues registra las temperaturas más bajas entre -10 y 18°C (UAAAN, 1999), lo cual tiende a provocar condiciones más críticas para el crecimiento, lo que finalmente se refleja en un ligero aumento en la densidad.

Algunos autores concuerdan con este tipo de resultados. Por ejemplo, Arroyo (2001) encontró que la densidad de la madera en *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, disminuye del centro hacia la corteza, debido a que el valor más alto fue para el centro del árbol (0.47 g cm⁻³) y menor para la parte más cercana a corteza (0.44 g cm⁻³ a 0.42 g cm⁻³), lo cual muestra que la tendencia es decreciente, esta misma autora atribuye esta tendencia a la presencia de extractivos, como la tendencia de este estudio es similar, probablemente se deba también a la presencia de extractivos. Por su parte Daniel *et al.* (1982) mencionan en árboles que crecen juntos o con demasiada competencia la densidad de la madera tiende a disminuir, debido a la misma competencia y a la edad.

Proporción de madera tardía

La tendencia que presentó esta característica fue totalmente contraria al de la

densidad de la madera (Figura 4), ya que a diferencia de ésta, la proporción de madera tardía aumenta de la parte central del árbol hacia la corteza, el crecimiento en proporción de madera tardía fue constante y se presentó en las cuatro regiones estudiadas.



Edad

Nota: En cada periodo de edad con letras iguales y donde no aparecen letras, son estadísticamente iguales con $\alpha= 0.05$)

Figura 4. Tendencias de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* entre regiones de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, en función de la edad.

Estadísticamente la región de Madera, fue diferente a las otras tres regiones (Basaseáchic, San Rafael y Guachochi) desde el inicio del crecimiento (periodo de 20 años) y hasta el periodo de 60 años con una rango de valores de 0.19 a 0.25, mientras que las otras regiones tuvieron un rango de valores de 0.29 a 0.34. Sin embargo para el periodo de 80 años la región de Madera fue igual a una región (San Rafael) y diferente a dos regiones (Basaseáchic y Guachochi). Algunos estudios concuerdan con el presente trabajo, así por ejemplo; Arroyo (2001) en *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, encontró que la proporción de madera tardía también aumenta del centro hacia la corteza.

Por su parte, autores como Zobel y Talbert (1988) mencionan que el crecimiento en proporción de madera tardía se ve influenciado tanto por factores genéticos como ambientales. A su vez, Creber y Chaloner (1984) mencionan que en los primeros años de crecimiento del árbol hay una alta producción de madera temprana y decrece con el tiempo, en tanto que la madera tardía aumenta con los años.

Incremento corriente anual en diámetro normal

En forma general el incremento corriente anual en diámetro normal en las cuatro regiones estudiadas sigue una tendencia a disminuir del centro hacia la corteza (Figura 3), pues los valores más altos se encontraron para la parte central del árbol (5.1 a 6.6 mm año⁻¹) y los valores más bajos para la parte más cercana a la corteza (3.6 a 4.2 mm año⁻¹).

La región de Madera sobresale en los periodos 20 y 80 años con 6.6 y 4.2 mm año⁻¹, respectivamente.

Estadísticamente sólo en el periodo de 40 años se encontraron diferencias, siendo las regiones de San Rafael y Basaseáchic diferentes entre sí, pero ambas son iguales a las regiones de Madera y Guachochi.

En algunos estudios, esta característica se comporta de manera semejante como en el presente trabajo. Por ejemplo, Arroyo (2001) menciona que en *Pinus arizonica* de Chihuahua, el incremento corriente anual disminuye del centro hacia la corteza, de igual forma de Norte a Sur, ya que los valores más altos fueron para las regiones del Norte y los más bajos para las regiones del Sur.

Por otro lado, Zobel (1964) menciona que a través de la edad se observan cambios en el crecimiento de los anillos, esto es, el crecimiento disminuye con edad del árbol, deduciéndose así que en árboles viejos, el tamaño de los anillos de crecimiento es menor que en árboles jóvenes, pues estos últimos tienen mayor producción de madera temprana. A su vez, Zobel y Talbert (1988) mencionan que en los primeros años de crecimiento del árbol hay mayor incremento y que éste disminuye con el paso de los años, es decir en árboles seniles los anillos de crecimiento son más angostos.

4.3 Variación entre regiones, sitios y árboles

La variación de las tres variables estudiadas: densidad de la madera, la proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus*

engelmannii entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua se presentan por separado.

Densidad de la madera

Se encontraron diferencias significativas para las tres fuentes de variación (regiones, sitios y árboles) (Cuadro 5). De la variación total, el 21.69% corresponde a la variación entre árboles, 3.54% para la variación entre sitios, mientras que la variación entre regiones contribuye con el 1.32% de la variación total. Cabe mencionar que la mayor variación se presentó en el error (fuente no explicable) 73.43%, estadísticamente la densidad de la madera presenta alta variación entre árboles ($p=0.0001$).

Cuadro 5. Análisis de varianza y componentes de varianza para la densidad de la madera de *Pinus engelmannii* entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

F.V.	g.l.	C.M.	F.c.	Pr> F	C.V.E.	C.V.E. %
Región	3	0.0193	5.72	0.0008	0.0000609	1.32
Sitio (Región)	29	0.0105	3.11	0.0001	0.0001634	3.54
Arb (Sitio-Región)	127	0.0074	2.18	0.0001	0.000999	21.69
Error	478	0.0033			0.00383	73.43
C.V. = 13.05 %						

F.V.= fuente de variación; g.l.= grados de libertad; C.M.= cuadrados medios; f.c.= valor calculado de "F"; Pr > f.= probabilidad de error tipo I (α); C.V.E.= componente de varianza estimada; C.V.E %= componente de varianza estimada en porcentaje; Reg.= Regiones; Sit.= Sitios; Arb.= Árboles.

En algunos trabajos se ha encontrado una tendencia semejante de la densidad de la madera, por ejemplo, Clay (1967) en *Liriodendron tulipifera* L. del Norte de Carolina, Estados Unidos, encontró variación de 49% entre árboles y 21% entre sitios, Zobel y Talbert (1988) en *Pinus taeda* L. 70% entre árboles y 15% entre regiones geográficas y una mínima variación entre sitios, Yáñez y Caballero (1982) en *Pinus strobus* 30% entre árboles y 59% entre sitios, Valencia y López

(1999) en *Pinus rudis* Endl. 59.8% entre árboles y 20.35% dentro de árboles. Al analizar los resultados del presente estudio y compararlos con los anteriores se puede notar claramente que la tendencia de esta característica es muy parecida, ya que la variación entre árboles es mayor y menor entre sitios y entre regiones.

Proporción de madera tardía

Para esta característica la variación entre árboles fue menor (1.95%) que para sitios y regiones 9.15 y 32.60%, respectivamente (Cuadro 6). Pero se conserva la mayor variación en el error (56.28%). De manera general esta característica presenta mayor grado de variación entre regiones y menor entre árboles, por lo que se asume que la variación entre regiones es producto de influencias ambientales y la variación entre árboles, se debe más a factores genéticos.

Cuadro 6. Análisis de varianza y componentes de varianza para la proporción de madera tardía de *Pinus engelmannii* entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

F.V.	g.l.	C.M.	F.c.	Pr> F	C.V.E.	C.V.E. %
Región	3	0.3053	87.74	0.0001	0.00201	32.60
Sitio (Región)	29	0.0149	4.28	0.0001	0.00055	9.15
Arb (Sitio-Región)	127	0.0040	1.14	0.1694	0.00011	1.95
Error	478	0.0035			0.00348	56.28
C.V. = 20.07 %						

F.V.= fuente de variación; g.l.= grados de libertad; C.M.= cuadrados medios; f.c.= valor calculado de "F"; Pr > f.= probabilidad de error tipo I (α); C.V.E.= componente de varianza estimada; C.V.E %= componente de varianza estimada en porcentaje; Reg.= Regiones; Sit.= Sitios; Arb.= Árboles.

Nótese que la variación entre regiones y árboles de la proporción de madera tardía es diferente al de la densidad de la madera. Al respecto, Zobel y Talbert (1988) mencionan que la proporción de madera tardía es un componente importante de la madera que influye sobre su densidad, además de que los índices de madera temprana y tardía son sin duda el reflejo de los cambios ambientales sucesivos.

Incremento corriente anual

En este caso se puede notar, que el incremento corriente anual en diámetro normal presenta mayor variación entre árboles (17.94%) y menor entre regiones (6.27%), mientras que la variación entre sitios fue de 11.25%, y también la mayor variación se sigue presentando en el error (64.52%) (Cuadro 7) como en los casos anteriores.

Arroyo (2001) en *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara Chihuahua, encontró que no hubo variación del incremento corriente anual en diámetro normal entre árboles, pero sí entre sitios y entre regiones (11.7% y 2.3%, respectivamente) aunque el error presentó la mayor fuente de variación (89.2%). Klepac (1976)

Cuadro 7. Análisis de varianza y componentes de varianza para el incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

F.V.	g.l.	C.M.	F.c.	Pr > F	C.V.E.	C.V.E. %
Región	3	1.98	19.54	0.0001	0.0098	6.27
Sitio (Región)	29	0.55	5.47	0.0001	0.0176	11.25
Arb (Sitio-Región)	127	0.21	2.11	0.0001	0.0281	17.94
Error	478	0.10			0.1011	64.52

C.V. = 20.96 %

F.V.= fuente de variación; g.l.= grados de libertad; C.M.= cuadrados medios; f.c.= valor calculado de "F" ; Pr > f.= probabilidad de error tipo I (α); C.V.E.= componente de varianza estimada; C.V.E %= componente de varianza estimada en porcentaje; Reg.= Regiones; Sit.= Sitios; Arb.= Árboles.

menciona que el incremento en diámetro del árbol depende del ambiente y que es mayor cuando hay más espacio libre para crecer, por lo que el incremento corriente anual es una característica que depende de factores externos como lo muestra el error donde se presentó la mayor variación.

4.4 Variación entre regiones

En el cuadro 8 se muestran las diferencias estadísticas entre las regiones de la Sierra Tarahumara, Chih., mediante una prueba de medias Tukey. También se encontraron diferencias en la variación de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii* (Anexo 1).

Para la densidad de la madera, la región de San Rafael fue estadísticamente diferente a dos regiones (Madera y Guachochi), además de que tuvo el valor más alto para esta característica. En algunos estudios se ha encontrado que la variación entre regiones de esta característica es altamente significativa, como lo mencionan Yáñez y Caballero (1982) para *Pinus strobus*. Al respecto, Eguluz y

Cuadro 8. Prueba de separación de medias, mediante la prueba de Tukey para la densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal de *Pinus engelmannii*, entre regiones de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

DM (g cm ⁻³)				PMT		ICA-DN (mm año ⁻¹)		
Regiones	n	\bar{O} (g cm ⁻³)	Tukey	\bar{O}	Tukey	\bar{O} (mm año ⁻¹)	Tukey	
Madera	300	0.439	b	0.240	b	1.59	(5.217*)	a
Basaseáchic	159	0.453	a b	0.320	a	1.37	(4.409*)	b
San Rafael	99	0.462	a	0.309	a	1.60	(5.443*)	a
Guachochi	80	0.434	b	0.314	a	1.44	(4.554*)	b

(*) = Valor transformado

valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes

Zobel (1989) encontraron que en *Pinus tecunumanii* de localidades de Guatemala, existen claras diferencias entre regiones de Este y Oeste, y que el rango de variación fue de 0.51 g cm⁻³ a 0.56 g cm⁻³. Por su parte, Arroyo (2001) menciona que para *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, existen diferencias significativas entre regiones.

Las diferencias que presentó la región de San Rafael probablemente se deban a sus condiciones topográficas y climáticas, puesto que en ella se registran temperaturas de hasta -10°C y pendientes de hasta 42° (UAAAN, 1999), mismas que hacen más crítico el crecimiento del árbol, lo que finalmente se refleja en la densidad de la madera, y esta región fue la que presentó el más alto valor de densidad de la madera con 0.462 g cm^{-3} . Otra causa de las diferencias de esta región puede ser la cuestión edáfica, ya que presentó la mayor profundidad de suelo (42 cm), si consideramos que en esta región existen mesetas en las cimas de las montañas, las condiciones de crecimiento para los árboles que ahí se encuentren pueden ser muy buenas, lo que hará que tengan tasas de crecimiento diferente a las de los árboles de las otras regiones (Madera, Basaseáchic y Guachochi), puesto que fue la región que registró el más alto índice de crecimiento con 5.443 mm año^{-1} . Otra causa importante probablemente sea, el tipo de manejo que se le dé a los rodales de esta región. Daniel *et al.* (1982) y Sánchez (2000) mencionan que la densidad de la madera puede modificarse a través de la técnica de aclareos, debido a que con los aclareos se modifican los índices de crecimiento de los árboles y por consiguiente la proporción de madera temprana y tardía, que finalmente va a repercutir en la densidad de la madera.

Para la proporción de madera tardía, la región de Madera con valor de 0.240 fue la única que resultó estadísticamente diferente, en tanto que las otras tres regiones (San Rafael, Basaseáchic y Guachochi) son iguales entre sí.

Algunos estudios concuerdan con los resultados del presente trabajo. Así por ejemplo, Arroyo (2001) en *Pinus arizonica* de cinco regiones de la Sierra Tarahumara de Chihuahua (Madera, Basaseáchic, Creel, Guachochi y El vergel) encontró que únicamente la región de Maderas resultó estadísticamente diferente, la misma autora menciona que la región de Maderas posee características geográficas y climáticas particulares, las que la hacen ser diferente a las demás regiones, a esto mismo puede deberse la tendencia de la proporción de madera tardía encontrada en este estudio.

Zobel y Talbert (1988) señalan que la proporción de madera tardía es una característica de la madera, que determina diferencias en sus propiedades. Por su parte, Clayton (1964) menciona que en *Pinus taeda*, cuando la proporción de madera tardía disminuye, también lo hace la densidad de la madera y viceversa, lo que no sucedió en el presente estudio.

En el caso del incremento corriente anual en diámetro normal se encontró que las regiones de Madera y San Rafael, son estadísticamente iguales entre si y ambas son diferentes a Basaseáchic y Guachochi. Los valores encontrados para las dos primeras regiones (Madera y San Rafael) fueron 5.217 y 5.443 mm año⁻¹, respectivamente y para las otras dos (Basaseáchic y Guachochi) los valores son 4.409 y 4.554 mm año⁻¹, respectivamente.

Las diferencias encontradas probablemente se deban a que en las regiones de Madera y San Rafael, se encuentren creciendo una población de árboles con tasas de crecimiento mayor a las otras dos regiones, dado que fueron las dos regiones que registraron los más altos índices de crecimiento. Zobel y Talbert (1988) mencionan que las tasas de crecimiento de dos o más árboles pueden ser diferentes aún cuando estos se encuentren creciendo bajo las mismas condiciones.

4.5 Correlación de variables

Los análisis de correlación muestran que la densidad de la madera tiene una correlación positiva con la proporción de madera tardía ($r=0.15$, $p=0.05$, $n=157$) y no presenta correlación con el incremento corriente anual en diámetro normal. Mientras que entre la proporción de tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal se presenta una correlación negativa ($r=-0.18$, $p=0.03$, $n=157$). Dado que hay una correlación negativa entre la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal y una correlación positiva entre la densidad de la madera y proporción de madera tardía, entonces se esperarí una

correlación negativa entre la densidad de la madera y el incremento corriente anual en diámetro normal; sin embargo, ésta no se alcanza a manifestar con los datos de las muestras que se usaron en el presente estudio.

La correlación positiva entre densidad de la madera y proporción de madera tardía, encontrada en el presente estudio, concuerda con lo reportado en otros trabajos; así por ejemplo, para *Pseudotsuga menziesii* ($r=0.60$) (Zobel y Talbert, 1988), para *Pinus patula* ($r=0.69$) (Valencia y Vargas, 2001) y para *Pinus arizonica* ($r=0.29$) (Arroyo, 2001). A su vez, también en otros trabajos se ha encontrado una correlación negativa entre la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal. Por ejemplo, Arroyo (2001) reporta para *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara de Chihuahua, una correlación negativa ($r=-0.22$, $P=0.0001$).

Aún cuando en el presente trabajo no se detectó una correlación entre la densidad de la madera y el incremento corriente anual en diámetro normal, en otros estudios si se ha encontrado una correlación. Por ejemplo, Arroyo (2001), para *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chihuahua señala una correlación negativa y muy pequeña ($r=-0.14$; $p=0.0001$).

El no encontrar correlación de la densidad de la madera con el incremento corriente anual en diámetro normal, probablemente se deba a la presencia de extractivos. En caso de no estar afectados por extractivos, entonces se pueden seleccionar árboles con alta densidad de la madera y con crecimiento rápido o puede ser lo contrario, es decir que en la selección de árboles, una variable no le afecta a la otra. Al respecto, Zobel y Talbert (1988) mencionan que la tasa de crecimiento y la densidad de la madera son en forma general genéticamente independientes en algunas especies, ya que hay especies de crecimiento rápido y con densidad de la madera alta.

En cuanto a variables dasométricas, se encontró correlación positiva entre la edad del árbol y la densidad de la madera ($r=0.29$; $p=0.0002$) y entre el incremento

corriente anual en diámetro normal y la edad se presentó una correlación negativa ($r=-0.402$; $p=0.0001$) (Cuadro 9), lo cual indica que a medida que la edad del árbol aumenta con el paso del tiempo, también aumenta la densidad de la madera, lo contrario sucede con el incremento corriente, ya que al aumentar la edad los incrementos se reducen. En relación a esto, Daniel *et al.* (1982) y Zobel y Talbert (1988) señalan que los incrementos se reducen con el paso del tiempo, esta tendencia se presenta de igual forma cuando hay árboles que crecen muy juntos o con demasiada competencia.

También se encontró correlación positiva entre la densidad de la madera con altura total y con altura de fuste limpio ($0.178 \geq r \leq 0.189$; $p=0.01$, respectivamente) pero con la proporción de madera tardía, ambas variables presentaron correlación negativa ($-0.393 \geq r \leq -0.170$; $p=0.02$) (Cuadro 9). Entre el

Cuadro 9. Análisis de correlación de las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal con variables dasométricas y variables de sitios de *Pinus engelmannii* en la Sierra Tarahumara Chihuahua.

Variables dasométricas

	n	DM	PMT	ICA-DN
Edad	157	0.291 *	-----	-0.402 *
Altura total	157	0.178 *	-0.393 *	-----
Altura de fuste limpio	157	0.189 *	-0.170 *	-----
Diámetro normal	157	-----	-0.399 *	-----

Variables de sitios

Altitud	33	-0.385 *	-----	-----
Pendiente	33	-0.372 *	0.383 *	-----
Latitud	33	-----	-0.690 *	-----
Longitud	33	-----	-0.428 *	-----
Área basal por hectárea	33	-----	-0.588 *	-----
Materia orgánica en cm.	33	-----	-0.587 *	-----
Hojarasca en cm.	33	-----	-0.634 *	-----

(*) = Significativo

diámetro y la proporción de madera tardía se presentó una correlación negativa ($r=-0.399$; $p=0.0001$) (Cuadro 9), lo que indica que al ir aumentando el diámetro del árbol, la proporción de madera tardía va disminuyendo.

Para las variables de sitio, la altitud y pendiente presentaron correlación negativa con la densidad de la madera ($-0.385 \geq r \leq -0.372$; $p=0.03$, respectivamente) (Cuadro 9) lo cual quiere decir que a medida que aumenta la altitud y la pendiente, disminuye la densidad de la madera.

En algunos estudios se ha encontrado lo contrario; así por ejemplo, Echols y Conkle (1971) mencionan que en *Pinus ponderosa*, la densidad de la madera aumenta progresivamente en plantaciones con elevaciones medias y bajas, pero que en plantaciones con elevaciones altas la densidad de la madera disminuye.

También se encontró correlación negativa entre las variables longitud, latitud y área basal con la porción de madera tardía (Cuadro 9), deduciendo así que al disminuir estas variables, la proporción de madera tardía aumenta. Cabe mencionar que ninguna de las variables de sitio presentó correlación con el incremento corriente anual.

V CONCLUSIONES

- a) *Pinus engelmannii* de la Sierra Tarahumara, Chih., presentó, con 95 % de confianza, un valor promedio entre 0.441 y 0.451 g cm⁻³ para la densidad de la madera (DM), entre 0.275 y 0.285 para proporción de madera tardía (PMT) y entre 4.770 y 5.091 mm año⁻¹ para incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN).
- b) De manera general, el ICA-DN presentó mayor la variación (CV=41.85%), seguido de PMT (CV=26.54%) y la menor variación se presentó en DM (CV=15.18%).
- c) Las tres fuentes de variación en estudio (regiones, sitios y árboles) presentaron efectos altamente significativos sobre la DM y el ICA-DN. Para la PMT sólo hubo efectos de regiones y sitios y no hubo efecto de árboles.

- d) Las fuentes de variación en estudio (regiones, sitios y árboles) afectan de manera diferente a cada variable. Para DM afectó más las diferencias entre árboles (21.69%), para PMT tiene mayor efecto las diferencias entre regiones (32.6%) y para ICA-DN contribuye más las diferencias entre sitios (11.25%).
- e) La tendencia a través de la edad del árbol, para PMT fue aumentar del centro del árbol hacia la corteza del árbol, mientras que para el ICA-DN la tendencia es contraria. Para el caso de la DM no se presentó una tendencia bien definida; sólo después de 20 años, parece estabilizarse.
- f) Se presentó una asociación negativa entre PMT e ICA-DN ($r=0.18$); mientras que entre DM y PMT, así como entre DM e ICA-DN, no se presentó asociación significativa.
- g) El tamaño del árbol (altura y diámetro) están en función de la edad. Los árboles de mayor altura y diámetro normal, presentan mayor ICA-DN y mayor DM, así como menor PMT.
- h) Las condiciones menos favorables del sitio, tales como mayor pendiente del terreno, mayor competencia entre árboles (mayor área basal ha^{-1}) y menor fotoperíodo (mayor latitud) se asocia de manera significativa con menor PMT y menor DM, sin que tenga efectos significativos sobre la tasa de crecimiento en diámetro (ICA-DN).

VI RECOMENDACIONES

- a) En la obtención de las muestras de madera (virutas), obtener dos por árbol para elevar el nivel de confiabilidad de los datos. Mantener las muestras en popotes y bajo temperatura para evitar que se deshidraten y aplicarles algún fungicida para prevenir daños por hongos. Asimismo, realizar el trabajo de laboratorio lo más pronto posible, de modo que se logre la saturación en el menor tiempo posible.

- b) Hacer estudios de la densidad de la madera donde se eliminen los extractivos, de modo que se tenga la certeza que los valores corresponden exclusivamente a la madera.

- c) Realizar estudios sobre otras características de la madera, por ejemplo, longitud de traqueidas y grosor de la pared celular.

- d) Ampliar este tipo de estudio para toda el área de distribución de la especie, así como para otras especies.
- e) Establecer ensayos de procedencias para diferenciar el efecto ambiental del efecto de procedencias u orígenes geográficos. Asimismo, establecer pruebas de progenies para diferenciar el efecto de árboles del efecto ambiental.

LITERATURA CITADA

- Abad, A. y Servín A., L. 1993. Introducción al muestreo. Segunda Edición. Ed. Limusa. México. 216 p.
- Arroyo P., M. 2001. Variación en densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. de la Sierra Tarahumara, Chihuahua. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 56 p.
- Azorín P., F. 1969. Curso de muestreo y aplicaciones. Ediciones Aguilar. Madrid, España. 375 p.
- Becerril A., P. 1993. Propiedades físicas de la madera. Memorias del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera. INIFAP. No. 63. pp 121-123.
- Beristáin B., J. J. 1992. Variación morfológica y anatómica de acículas de *Pinus greggii* Engelm. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 93 p.
- Borja de la R., A. y J. C. Tamarit J. 1997. Propiedades de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango, México. Revista Chapingo. 3 (1): 103-107.

- Cevallos F., S. y Carmona V., T. 1981. Banco de información de estudios tecnológicos de especies que vegetan en México. Centro Nacional de Productos Forestales INIF-SARH. Catalogo No. 2. Tomo I. México. 101 p.
- Consejo de Recursos Minerales. 1994. Monografía geológico-mineral del estado de Chihuahua. Secretaría de Energía, Minas e Industrias Paraestatales, Subsecretaria de Minas. México. 297 p.
- Cook, E. R. y L. A. Kairiukstis. 1992. Methods of dendrocronology; Application in the environmental sciences. Klumer Academic Publishers. International Institute For Applied Systems Analysis. Dordrecht, Holanda. 364 p.
- Clay, K. R. 1967. A geographic variation study of yellow-poplar (*Liriodedron tulipifera* L.) within North Carolina. Technical Report No. 33. School of Forestry, North Carolina State University, Raleigh, N.C. 41 p.
- Clayton, E. P. 1964. The effects of the fertilization upon wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda* L.). Technical Report. No. 22. School of Forestry, North Carolina State University, Raleigh, N. C. USA. 62 p.
- Creber, T. G. y G. W. Chaloner. 1984. Influence of environment factors on the wood structure of living and fossil trees. *The Botanical Review*. 50 (4): 357-448.
- Cruz J., S. D. 2001. Factores asociados a la distribución de *Pinus engelmannii* Carr. en la Sierra Tarahumara, Chih., utilizando sistemas de información geográfica. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 76 p.
- Daniel, T. W., J. A. Helms y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. McGraw-Hill. México. 492 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.
- Echols, R. M. y M. T. Conkle. 1971. The influence of plantation and seed-source elevation on wood specific gravity of 29 year-old ponderosa pine. *Forest Science*. 17(3): 388-394.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. 623 p.
- Eguiluz P., T. y J. B. Zobel. 1989. Geographic variation in wood properties of

Pinus tecunumanii. Wood and fiber Science. 18(1): 68-75.

- Fahn A., J. Burley, A. K. Longman, A. Mariaux y T. P. Barry. 1983. Posibles contribuciones de la anatomía de la madera a la determinación de la edad de los árboles tropicales. INERIB. Editores F. H. Bormann y G. Berlyn CECSA. Veracruz, México. pp. 31-55.
- Freese, F. 1969. Muestreo forestal elemental. Centro Regional de Ayuda Técnica. Boletín de Agricultura No. 232. México. 96 p.
- Furnier, R. G. 1997. Métodos para medir variación genética en plantas. En manejo de recursos genéticos forestales. T., J. J. Vargas H. y B. Bermejo V. Editores Ledig. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. pp. 23-36.
- García A., A. y M. S. González E. 1998. Pináceas de Durango. Instituto de Ecología, A. C. México. 175 p.
- Graudal, L. 1993. Introducción a los principios sobre diseño y evaluación de experimentos de mejoramiento genético forestal. Manual técnico No. 14. Turrialba, Costa Rica. pp. 117-139.
- 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.
- Hocker Jr., H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor. México. 431 p.
- INEGI. 1981. Cartas topográficas. Claves: G12-6, G13-1, G13-4, G13-7 H12-12, H12-9, H13-7, H13-10. Escala 1:250 000
- Jozsa, L. A. y H. Brix. 1989. The effects of fertilization and thinning and wood quality of 24 year-old Douglas-fir stand. Can. J. For. Res. (19); 1137-1145.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, España. 675 p.
- Klepac, D. 1976. Crecimiento e incremento de árboles y masas forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 365 p.
- Ladrach, W. E. y M. Gutiérrez. 1979. Logros genéticos con *Cupressus lusitanica* a través de seis años de mejoramiento de árboles en Colombia. Informe de investigación No. 50. Smurfit Cartón de Colombia, Investigación Forestal. Cali Colombia. 16 p.

- Larios S., P. 1979. Indices de calidad de pulpa de dos coníferas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- López L., M. 1997. Variación de la densidad de la madera de *Pinus greggii* Engelm. en el Norte de México. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 68 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. Segunda Edición. Ediciones Botas. México. 431 p.
- Matteucci, S. D. y A. Colma. 1992. Metodología para el estudio de la vegetación. Secretaría General de los Estados Americanos. Washington, D. C. 168 p.
- Notivol E., L. A., Gil y J. A., Pardos. 1992. Una metodología para determinar la densidad de la madera de árboles en pie y de su grado de variabilidad en *Pinus pinaster* Ail. Investigación Agraria. 41-47 pp.
- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Limusa. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 247 p.
- Ritchie B., C. 1968. Variación y clasificación de las plantas. Ed. Herrero Hermanos México. 142 p.
- Robles S., R. 1982. Terminología genética y fitogenética. Trillas. México. 163 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Sánchez C., H. 2000. Efecto de un aclareo sobre propiedades de la madera en el crecimiento en diámetro de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra de las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 83 p.
- Scheaffer, R. L., Mendenhall, W. Y Ott L. 1986. Elementos de muestreo. Ed. Iberoamérica. México D. F. 320 p.
- Smith, D. M. 1954. Maximun moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. Forest Produits Laboratory. Rep. No. 2014. USDA. Forest Service. Madison, Wis. USA. 8 p.
- Steel, R. G .D y J. H. Torrie. 1988. Bioestadística, principios y procedimientos. Mc Graw-Hill. México. 622 p.
- Swain, T., W. E. Hillis y P. R. Larson. 1983. Química de la madera. INIREB. Editores F.H. Bormann y G. Berlyn. (Editores) CECOSA. Veracruz, México. pp. 56-76.

- Trujillo G., M. C. 1999. Variación de la densidad de la madera de *Pinus teocote* Schl. y Cham. en el ejido la Trinidad, Montemorelos, N. L. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 44 p.
- UAAAN. 1999. Estudio de impacto ambiental de la región Tarahumara, Chihuahua. Dirección de Desarrollo Regional de la SAGAR. Banco Mundial. México. 231 p.
- UNAM. 1970. Cartas de climas. Claves 13R-III, 13R-V, 12R-II, 12R-IV, 12R-VI. Escala 1:500,000. Secretaría de la Presidencia Dirección de planeación. Comisión de Estudios del Territorio nacional.
- 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. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Valencia M., S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham., y su relación con la velocidad de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Posgraduados, Montecillo, México. 108 p.
- Valencia M., S. y J. J. Vargas H. 1977. 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 J. J. Vargas H. 2001. Correlaciones genéticas y selección simultánea del crecimiento y densidad de la madera de *Pinus patula* Schl. et Cham. *Agrociencia*. 35 (1): 109-120.
- Valencia M., S. y F. López A. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en la Sierra las Alazanas, Arteaga Coahuila. *Foresta-AN*. Nota técnica No. 1. UAAAN. Saltillo, Coah., México. 17 p.
- Van Buijtenen, J. P. 1964. Anatomical factors influencing wood specific gravity of slash pine and the implication for the development of a high-quality pulpwood. *Tappi*. 47(7): 401-404.
- Wiemann C., M. y B. Williasom G. 1989. Radial gradients in the specific gravity of wood in some tropical and temperate trees. *Forest Science*. 35 (1): 197-210

- Willan L., R. K., Olesen y H. Barner. 1993. La variación natural como base del mejoramiento genético. Mejoramiento Forestal y Conservación del Recurso Genético Forestal. Manual técnico No. 14. Turrialba Costa Rica. pp. 1-17.
- Wright, J. A. 1991. Impact of wood quality assessments on future fiber resource in the pulp and paper-making industry. Sappi Forest. No. 157. 96-99 p.
- Wright, J. A. y M. Endo. 1993. Densidad de la madera de 460 clones, en dieciséis ensayos de *Eucalyptus grandis*, a los cuatro años de edad en Colombia. Informe de investigación Forestal No. 156. Cartón de Colombia. Cali, Colombia. 9 p.
- Wright, J. K. 1976. Introducción to forest genetics. Academic press. New York, San Francisco, London. 463 p.
- Yañez M., O. y M. Caballero D. 1982. Variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz., de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de las traqueidas de la madera. Revista Chapingo. 15 (75): 18-24.
- Zobel, J. B. 1964. Mejora genética de las propiedades de la madera de especies forestales. Unasyuva. 8 (73-74): 89-103.
- Zobel, J. B. 1985. Juvenile wood in tropical forest plantations: characteristic and effect on the final product. CAMCORE. Bulletin on Tropical Forestry. North Carolina State University. USA. 17 p.
- Zobel, J. B. y T. J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Limusa. México. 545 p
- Zobel, J. B. y P. J. van Buijtenen. 1989. Wood variation, its causes and control. Springer Verlag. Germany. 363 p.

Anexo 1. Diferencias mediante la prueba de Tukey, para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) a través de la edad en *Pinus engelmannii*; de la Sierra Tarahumara de Chihuahua.

DM (g cm ⁻³)								
Región	0 20 años	Tukey	0 40 años	Tukey	0 60 años	Tukey	0 80 años	Tukey
Madera	0.459	a	0.430	a	0.440	a	0.428	a
Basaseáchic	0.464	a	0.458	a	0.449	a	0.447	a
San Rafael	0.459	a	0.460	a	0.461	a	0.469	a
Guachochi	0.437	a	0.421	a	0.442	a	0.436	a
Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes $\alpha=0.5$								
PMT								
Región	0 20 años	Tukey	0 40 años	Tukey	0 60 años	Tukey	0 80 años	Tukey
Madera	0.193	b	0.224	b	0.249	b	0.293	b
Basaseáchic	0.277	a	0.323	a	0.334	a	0.354	a
San Rafael	0.279	a	0.294	a	0.326	a	0.339	a b

Guachochi	0.272	a	0.312	a	0.316	a	0.355	a
-----------	-------	---	-------	---	-------	---	-------	---

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes $\alpha=0.5$

Región	ICA-DN (mm año ⁻¹)							
	0 20 años	Tukey	0 40 años	Tukey	0 60 años	Tukey	0 80 años	Tukey
Madera	6.568	a	5.257	a b	4.806	a	4.161	a
Basaseáchic	5.509	a	3.991	b	4.006	a	3.586	a
San Rafael	6.293	a	6.052	a	5.132	a	3.971	a
Guachochi	6.087	a	4.597	a b	3.891	a	3.579	a

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes $\alpha=0.5$

