

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA  
"ANTONIO NARRO"

---

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

Variación en la densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm.  
de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Por:

MATILDE ARROYO PÉREZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Junio de 2001.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA “ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación en la densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. de la Sierra  
Tarahumara, Chihuahua.

Por:

Matilde Arroyo Pérez

TESIS

Presentada como requisito parcial para  
obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

---

Asesor principal  
M.C. Salvador Valencia Manzo

---

Coordinador de la División de Agronomía  
M.C. Reynaldo Alonso Velasco

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio de 2001.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO"

DIVISIÓN DE AGRONOMIA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación en la densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Por:

Matilde Arroyo Pérez

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

INGENIERO FORESTAL

Aprobada por:

---

Asesor principal  
M.C. Salvador Valencia Manzo

---

Sinodal  
Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo

---

Sinodal  
Ing. José Antonio Ramírez Díaz

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.  
Junio de 2001.

El presente estudio se realizó como parte de los Proyectos de Investigación “Cartografía de la productividad forestal maderable en bosques de *Pinus* de la región Tarahumara, Chihuahua” (Clave: 02.03.0207.2572) y “Estudio de la variación en características de la madera en coníferas del Norte de México” (Clave: 02.03.0207.2363) de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”.

## AGRADECIMIENTOS

*Gracias a la vida, que me ha dado tanto.  
Me ha dado el sonido y el abecedario, con él las palabras  
que pienso y declaro... Cuando miro el fruto del cerebro humano.*

*Gracias a la vida, que me ha dado tanto.  
Me ha dado la marcha de mis pies cansados, con ellos anduve  
ciudades y charcos, playas y desiertos, montañas y llanos ...* (Violeta Parra)

A DIOS Y A MIS  
PADRES  
POR LA VIDA

A la **Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”** por acogerme en su seno y permitirme cumplir uno más de mis sueños.

A **todas las personas** que hacen posible que exista en nuestro país una educación pública y día a día luchan para que sea mejor.

Al **M.C. Salvador Valencia Manzo**, por su gran paciencia y apoyo para realizar el presente trabajo. Gracias por los sabios consejos y enseñarme a hacer bien las cosas.

Al **Ph. D. Eladio H. Cornejo Oviedo**, por sus valiosas sugerencias para hacer mejor el presente trabajo.

Al **Ing. José Antonio Ramírez Díaz** por realizar la revisión del presente trabajo.

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

A **René Santos H., Fredy Morales de J. y Juan G. Cu Ewan** por su valiosa ayuda y apoyo para que siguiera el camino que me trace.

A los **“chicos”** de la Generación LXXXVIII de Ingeniero Forestal, quienes me enseñaron que las cosas se realizan con dedicación, constancia y esfuerzo. Gracias.

A los **amigos y amigas** por su apoyo. Gracias a todos por coincidir en tiempo y espacio.

A **PROFAUNA A.C.**, especialmente a la **Biol. Eglantina Canales G.**, por su apoyo, por los buenos consejos para crecer y por las enseñanzas que quedan bien grabadas.

## DEDICATORIA

**A MI FAMILIA**, especialmente a los dos seres humanos que con sabiduría y paciencia guían mis pasos equilibradamente, mis padres.

**Al Sr. José Eufemio Arroyo Martínez** quien inyectó en mis venas el amor por los recursos naturales. Gracias por enseñarme a caminar firmemente a tu lado, por ser mi mejor amigo, riendo y llorando juntos. “TE AMO PAPÁ”.

**A la Sra. Orlanda Pérez Rodríguez** quien me abrió el corazón de los libros, buscando siempre diversos mundos y fantasías. Gracias por la confianza y comprensión a mis retos, por ser la mano que se extiende en mis tropiezos y caídas. “TE AMO MAMÁ”.

**A mamá Eva** por ser mi segunda cuna y el refugio de mi infancia.

**A Ely** por ser como mi segunda madre, quien me ha enseñado la perfección del ser humano reconociendo defectos y virtudes. Gracias por todos los momentos compartidos.

**A Laura, Ivan y Omar** quienes con su juventud y alegría aportan la más sencilla simpleza a nuestro hogar. Gracias por ser mis amigos.

**A Jamim y Juan Pablo** por que sin ellos no habría impulso suficiente por mejorar el mundo que nos rodea. Gracias Dios por su inocencia.

Nosotros somos parte de la tierra y la tierra es parte de nosotros.

... El agua que circula por los ríos y los arroyos de nuestro territorio no sólo es agua, es también la sangre de nuestros ancestros. Cada cosa que refleja en las aguas cristalinas de los lagos habla de los sucesos pasados de nuestro pueblo...

¿Para que le sirve la vida al ser humano, si no puede escuchar el canto solitario del pájaro...? ¿Si no puede escuchar la algarabía nocturna de las ranas...?

Si todos los animales fueran exterminados el hombre también perecería entre una enorme soledad espiritual. El destino de los animales es el mismo del hombre. Todo se armoniza.

Enseñen a sus hijos lo que los nuestros ya saben: lo que la tierra padezca será padecida por sus hijos, Cuando el hombre escupe al suelo se escupen a ellos mismos.

Nosotros estamos seguros de esto: la tierra no es del hombre, si no el hombre es de la tierra. Nosotros lo sabemos. Todo se armoniza.

Como la sangre que emparenta a los hombres. El hombre no teje el destino de la vida. El hombre es sólo una hebra en ese tejido. Lo que haga en el tejido se lo hace a si mismo...

...Dios estima mucho esta tierra y quien la dañe provocará la furia del creador.

(Fragmento tomado de la carta del jefe Piel Roja Seattle, en respuesta a la compra de sus tierras, al presidente de los E.U. en 1854)

# 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 natural .....	3
2.1.2 Causas de la variación genética .....	5
2.1.3 Variación dentro de las especies .....	6
2.2 Formación de la madera .....	7
2.2.1 Formación de anillos .....	9
2.2.2 Madera tardía y madera temprana .....	9
2.2.3 Madera juvenil y madera madura .....	10
2.2.4 Tipo de ritmos anuales .....	10
2.3 Densidad y peso específico de la madera .....	11
2.3.1 Propiedades que influyen en la densidad de la madera .....	11
2.3.2 Variación en la densidad de la madera .....	12
2.3.3 Importancia de la densidad de la madera .....	13
2.4 <i>Pinus arizonica</i> Engelm .....	14
2.4.1 Distribución .....	14
2.4.2 Características de la madera .....	15
2.4.3 Usos .....	16
III MATERIALES Y MÉTODOS .....	17
3.1 Descripción del área .....	17



3.2 Trabajo de campo .....	19
3.2.1 Muestreo de sitios .....	19
3.2.2 Muestreo del arbolado .....	20
3.3 Trabajo de laboratorio .....	22
3.3.1 Saturación de muestras y seccionado .....	22
3.3.2 Medición de madera temprana y madera tardía .....	22
3.3.3 Determinación de la densidad de la madera .....	23
3.4 Procesamiento de análisis estadístico .....	24
IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión .....	28
4.1.1 Tendencias a través del tiempo (edad) .....	32
4.2 Variación entre regiones, sitios y árboles.....	35
4.3 Variación entre regiones.....	39
4.3.1 Análisis de varianza y componentes de varianza.....	39
4.3.2 Tendencias a través del tiempo (edad) entre regiones .....	42
V CONCLUSIONES .....	48
VI RECOMENDACIONES .....	50
LITERATURA CITADA .....	51
ANEXOS .....	56

## ÍNDICE DE CUADROS

Página

1. Agrupación de las cinco regiones estudiadas, sus sitios, árboles y municipios que conforman cada región.....	20
2. Componentes de los cuadrados medios esperados para las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal en las cinco regiones.....	25
3. Componentes de los cuadrados medios esperados para las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e 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 (ICA–DN) de <i>Pinus arizonica</i> en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	28
5. Componente de cuadrados medios y de la variación estimada para la densidad de la madera (DM) de <i>Pinus arizonica</i> , entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	36
6. Componente de cuadrados medios y variación estimada para la proporción de madera tardía (PMT) de <i>Pinus arizonica</i> , en sitios y árboles de las regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	38
7. Componente de cuadrados medios y de la variación estimada para el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) de <i>Pinus arizonica</i> , entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	39
8. Prueba de separación de medias, mediante la Agrupación Tukey, para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía(PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) de <i>Pinus arizonica</i> entre regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	40

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
1. Esquema de factores internos y externos que influyen en la formación de la madera (Tomado de Creber y Chaloner, 1984).....	8
2. Mapa de la ubicación geográfica de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	18
3. Mapa de la ubicación de las cinco regiones estudiadas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	21
4. Comportamiento a través del tiempo de las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	33
5. Comportamiento de la densidad de la madera (DM) de <i>Pinus arizonica</i> a través del tiempo, en cinco regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	43
6. Comportamiento de la proporción de madera tardía (PMT) de <i>Pinus arizonica</i> a través del tiempo, en cinco regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	45
7. Comportamiento del incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) de <i>Pinus arizonica</i> a través del tiempo, en cinco regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.....	47

RESUMEN

La variación de algunas características de la madera, así como su heredabilidad hacen posible que se realicen programas de mejoramiento genético, que vayan encaminados a mejorar y optimizar el aprovechamiento de los recursos maderables, puesto que se observa la disminución de los bosques naturales con la demanda que exige la sociedad. Como es el caso de *Pinus arizonica* en el estado de Chihuahua, la cual fue objeto de estudio en el presente trabajo. En el que se observó el comportamiento de la variación de la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal en cinco regiones en que fue dividida la Sierra de acuerdo a sus topoformas y a la agrupación de la vegetación.

Se determinó la densidad de la madera de 718 muestras mediante el método de máximo contenido de humedad, las muestras fueron tomadas de secciones en periodos de 20 años. La proporción de madera tardía se obtuvo de la medición del ancho total de cada anillo y del ancho de la madera tardía (6 anillos promedio por sección), mediante una lente micrométrica con precisión de 0.09 mm. El incremento corriente anual en diámetro normal se calculó con la suma de la longitud total de los 6 anillos de cada sección, después se multiplicó por dos y posteriormente se dividió entre los 6 anillos.

Los resultados muestran que existe mayor variación de la densidad de la madera en árboles (22.3%) y menor en regiones y sitios (6 y 3.4%, respectivamente) en la Sierra Tarahumara, Chih. Mientras que en la proporción de madera tardía es mayor en regiones y árboles (7.9 y 6.4%, respectivamente), pero menor en sitios (4.6%). Para el incremento corriente anual en diámetro normal no se encontró variación entre árboles y presenta mayor variación en los sitios (11.7%) y una menor variación en regiones (2.3%). También se encontró que el error residual representaba la mayor variación para las tres variables (64.7, 81.2 y 89.2%, respectivamente).

Asimismo, se encontró que existen altas diferencias significativas ( $P=0.001$ ) de la densidad de la madera (DM), la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) en las cinco regiones estudiadas de la Sierra Tarahumara, Chihuahua. En donde la tendencia a través del tiempo muestra que la densidad de la madera en *Pinus arzonica*

tiende a disminuir en los primeros años y posteriormente va aumentando del centro hacia la corteza. Mientras que la proporción de madera tardía presenta que la región Madera y Guachochi van en aumento, pero en las otras tres regiones la tendencia es contraria. En el incremento corriente anual en diámetro se observa que disminuye en las cinco regiones del centro hacia la corteza. Se encontró una correlación negativa entre la edad y el incremento corriente anual en diámetro normal en las cinco regiones ( $-0.101 \geq r \leq -0.506$ ;  $P=0.0001$ ).

## I INTRODUCCIÓN

Cada día el interés es mayor por conocer los recursos naturales con que cuentan los estados del país y sus regiones, ya que de ellos las personas obtienen beneficios y dependen de manera económica; pero en el caso de los recursos forestales, ya sean maderables o no maderables, los recursos son enormes debido a su amplia variabilidad en los tipos de ecosistemas. Chihuahua es uno de los estados más grandes de México, y cuenta con una superficie con más de 1'800,000 ha en bosques de coníferas (SEMARNAP, 1999).

En la actualidad la madera de diferentes especies forestales es considerada como materia prima para producir diversos productos tales como chapa para triplay, tableros de partículas, tableros de fibras, polines y maderas para la construcción; los usos son múltiples que van desde construcciones terrestres, navales, hidráulicas y aeronáuticas; para mobiliarios y decorados de interiores y exteriores; para el transporte y la comunicación, así como para muchos usos industriales (Díaz 1993). Tan sólo en el estado de Chihuahua la producción maderable es de 1'908,350 m<sup>3</sup>r, de los cuales 1'717,668 m<sup>3</sup>r son de pino, en donde se puede encontrar a la especie *Pinus arizonica* Engelm. como una de las más aprovechadas en el estado de Chihuahua (INEGI, 2000).

Para conocer los recursos de los cuales se dispone, los investigadores del mejoramiento genético en especies forestales se han interesado en conocer y utilizar óptimamente las especies de cada región (Becerril 1993), para satisfacer a la sociedad y dar utilidades a la industria. La madera posee características tecnológicas especiales que la convierten en un recurso indispensable para satisfacer muchas necesidades de la población (Díaz, 1993), pero para ello se requiere de múltiples estudios que vayan encaminados a mejorar las características que influyen en la calidad de la madera y el rendimiento.

*Pinus arizonica* es una especie localizada en diferentes regiones de la Sierra Tarahumara, en el estado de Chihuahua. Esta especie es importante económicamente para dicho estado y cuenta con una amplia distribución en la Sierra Madre Occidental. De acuerdo con López (2001) las áreas de distribución de esta especie cubren aproximadamente 1,317.49 km<sup>2</sup>, que representa el 1.85%

de la superficie total de la Sierra Tarahumara, en Chihuahua, abarcando la zona Sur, centro y Norte de dicha Sierra. Es por ello la necesidad de conocer los múltiples usos que se le puedan dar, así como encontrar su mejor aprovechamiento.

### 1.1. Objetivo

El objetivo principal del presente estudio es estimar el nivel y magnitud de la variación en la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro de *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

### 1.2. Hipótesis

Las hipótesis estadísticas propuestas son:

Ho: No existen diferencias para la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal, entre regiones, entre sitios y entre árboles de *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chih.

Ha: Si existen diferencias para la densidad de la madera, la proporción de madera tardía y el incremento corriente anual en diámetro normal, entre regiones, entre sitios y entre árboles de *Pinus arizonica* de la Sierra Tarahumara, Chih.

## II REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Variación natural

La variación es la aparición de diferencias entre individuos, debido a su composición genética o al medio en que se desarrollan (Robles, 1982) y sirve como materia prima de la evolución ya que está relacionada con la habilidad de las poblaciones para adaptarse a los cambios ambientales (Furnier, 1997). Sin la variación, la selección natural no tendría en que actuar (Ritchie, 1968) aunque exista una variedad infinita de formas, algunas plantas se parecen más entre si que otras y el hombre las agrupa para comprender mejor la complejidad de la naturaleza (Willan *et al.*, 1993).

Para comprender mejor la importancia evolutiva y taxonómica de la variación, se debe conocer la variación de un árbol, entre árboles pertenecientes a una población, entre árboles de diferentes poblaciones y así observar la variación alcanzada en la naturaleza (Ritchie, 1968). Existe variabilidad dentro de un árbol únicamente para algunas características como es el peso específico de la madera, dependiendo a que altura del árbol se tome la muestra (Zobel y Talbert, 1988). Las diferencias del ambiente también provocan una variación en las respuestas del fenotipo de la mayor parte de las características de la madera (Hocker, 1984).

Algunas características son relativamente estables y revelan poca variación de un individuo a otro, pero existen otros caracteres que pueden exhibir una variedad amplia (Ritchie, 1968); cuando dos individuos se encuentran en sitios distintos es difícil decir que tan diferentes son genéticamente ya que esto está confundido con diferencias ambientales entre sitios (Furnier, 1997).

#### 2.1.1 Fuentes de variación natural

Para conocer mejor la variación natural entre seres vivos es necesario conocer las causas o fuentes que originan dichas variaciones, encontrándose tres fuentes principales:



- a) Las diferencias en el desarrollo, esto es muy evidente en los árboles ya que van en aumento con el paso del tiempo (edad), los cuales inician como semilla de pocos gramos y crecen hasta convertirse en masas de varias toneladas; de ahí la importancia de su variabilidad (Willan *et al.*, 1993).
  
- b) Variación ambiental. Ésta puede darse en diferentes niveles; entre áreas geográficas, entre localidades y entre sitios de la misma localidad; incluso, material de una misma área puede comportarse diferente a distintas altitudes y latitudes. Dentro de un sitio puede existir un gradiente de fertilidad en extremos diferentes del terreno o bien puede ser por la diferencia de disponibilidad de nutrientes (Graudal, 1993), puede también observarse en árboles torcidos por el viento (Willan *et al.*, 1993).

La variación de rasgos morfológicos, fisiológicos y anatómicos puede presentarse en dos formas: una clinal o continua; en la que un rasgo o carácter heredable del individuo tiene una distribución normal, sin fluctuaciones bruscas como el tamaño del cono, longitud de fibras leñosas, el grosor de la pared celular; en este tipo de variación influye el ambiente como la temperatura y la precipitación (Robles, 1982; Hocker, 1984). La otra forma de variación es conocida como ecotípica o discontinua; esta variación es más cualitativa, se caracteriza porque fácilmente se puede diferenciar en clase a los fenotipos de una población; está condicionado por uno o pocos pares de genes (Robles, 1982), puede presentar adaptaciones a las presiones del medio, ya sean edáficas, climáticas o bióticas que sean específicas (Hocker, 1984).

- c) Variación genética. Se entiende como la variación asociada dentro de determinadas especies y son transmitidas de generación a generación (Willan *et al.*, 1993). Las diferencias en las características morfológicas pueden ser trazadas por variaciones de genes individuales o genes en conjuntos en diferentes localidades (Hocker, 1984). La variación genética, es suficientemente pequeña como para reconocer los descendientes de la misma especie de progenitores, o suficientemente grande para poder distinguir entre individuos de la misma especie (Willan *et al.*, 1993).

La variación genética es separada en componentes aditivos y no aditivos (Zobel y Talbert, 1988). Se denomina aditivo al efecto de la acción genética sobre una característica particular, puede ser lineal con pequeños incrementos de variación y es causada por efectos acumulativos de los alelos en un grupo de cromosomas o loci (Hocker, 1984). El componente no aditivo se divide en dos tipos: de dominancia la cual es causada por la interacción de alelos específicos en un locus (Zobel y Talbert, 1988) o también conocido como de sustitución genética que puede producir un cambio discreto en la expresión fenotípica de la característica (Hocker, 1984) y el otro tipo denominado epistasia que es causada por las interacciones entre loci (Zobel y Talbert, 1988). La densidad de la madera tiene una alta capacidad de herencia y está controlada primeramente por la estructura genética más que por el medio ambiente (Hocker, 1984).

### 2.1.2 Causas de la variación genética

La variación natural de rodales tiene cuatro grandes fuerzas, dos que aumentan la variación y dos que la disminuyen (Zobel y Talbert, 1988); estos mecanismos evolutivos afectan la estructura genética de las especies (Hocker, 1984).

- a) Mutación. Durante la meiosis, la segregación y el entrecruzamiento de los cromosomas resultan gametos con diferentes combinaciones de genes, los genes individuales no son alterados (Willan *et al.*, 1993). Las mutaciones genéticas tienen el efecto de aumentar el conjunto de variaciones genéticas por incremento al número de alelos disponibles para la recombinación en cada posición (Spurr y Barnes, 1982); ésta se presenta en cualquier población biológica y en la mayor parte pueden ser perjudiciales porque pueden interrumpir el balance genético dentro del individuo (Hocker, 1984). Las mutaciones benéficas ocurren raramente; sin embargo, durante millones de años, éstas han creado la enorme variación natural (Willan *et al.*, 1993).
- b) Migración o flujo génico. Es la migración de alelos de una población o especie hacia otra, donde pueden faltar o estar con una frecuencia distinta (Zobel y Talbert, 1988), este movimiento de genes puede ser por polen, semillas o

plantas de una población a otra población de la misma especie (Willan *et al.*, 1993), la migración es importante para poblaciones naturales, causando cambios en los patrones de variación (Zobel y Talbert, 1988).

- c) Selección natural. Es un método particularmente efectivo de separación de la gran cantidad de genotipos (Hocker, 1984), suele reducir la variabilidad de una población en un ambiente dado. La selección natural favorece a los más adaptados, aquellos árboles con el genotipo más adecuado para crecer y reproducirse en un ambiente determinado (Zobel y Talbert, 1988; Willan *et al.*, 1993).

La hibridación o introgresión. Es la incorporación de genes de una especie a otra a través de un proceso de hibridación continuo (Willan *et al.*, 1993), la aparición de híbridos interespecíficos se produce regularmente en poblaciones naturales, de tal forma que están disponibles nuevas combinaciones genéticas para la selección natural (Hocker, 1984).

- d) Deriva genética. Es un mecanismo complejo que se presenta a través de fluctuaciones aleatorias (no causadas por selección) en la frecuencia de alelos de una población. Casi siempre la población es pequeña y muestra una tendencia hacia la fijación o pérdida de un alelo que afecta a una característica (Zobel y Talbert, 1988). Debido a que la deriva es un proceso aleatorio, el resultado no es el mismo en cada población y así puede causar la diferenciación entre poblaciones (Furnier, 1997).

### 2.1.3 Variación dentro de las especies

Callaham (1964) menciona que la idea de la variación dentro de las especies se fue considerando desde un punto de vista taxonómico y biológico por los forestales. Los numerosos estudios sobre variación dentro de las especies ha llevado a concluir que:

- a) La variación del medio ambiente a lo largo del área de distribución de la especie, ocasiona que dicha especie varíe genéticamente. Las especies con amplia distribución son más variables que las restringidas.

- b) Existen tipos de variaciones que están muy relacionadas entre si (variación inherente) y que a la vez se relacionan con los ambientes. Las interrupciones en la distribución de la especie o los cambios rápidos en factores ambientales son manifestadas en las discontinuidades de las variaciones inherentes.
- c) Las razas de una especie de regiones climáticas diferentes pueden variar inherentemente en la adaptación a factores ambientales. Un factor ambiental puede ser crítico para una región, pero ser menos importante en otra que tenga otro factor crítico.
- d) Existen especies que son semejantes pero no iguales con respecto a la adaptación inherente al mismo medio. Incluso existen limitantes para especies cohabitantes.
- e) Debido a la gran variabilidad de especies y ambientes es difícil el análisis y se requiere de estudios para llegar a un origen óptimo.
- f) En las especies cultivadas o perturbadas por el hombre, donde son llevadas a ámbitos diferentes, no se puede determinar un comportamiento.

## 2.2 Formación de la madera

Creber y Chaloner (1984) mencionan que el crecimiento de la madera se ve influido por factores externos. En donde el clima es producto de la latitud, altitud, radiación solar y posición geográfica del sitio. Pero el clima, a su vez, es el que determina el suministro de agua a los árboles, las temperaturas ambientales y la duración del crecimiento estacional. Dichos efectos actúan en colaboración con los procesos metabólicos (factores internos) del árbol; como son la fotosíntesis, que permite el transporte de los nutrientes; el fotoperíodo, los factores genéticos y los reguladores de crecimiento, volviéndose así imprescindibles para el crecimiento de la madera (Figura 1).

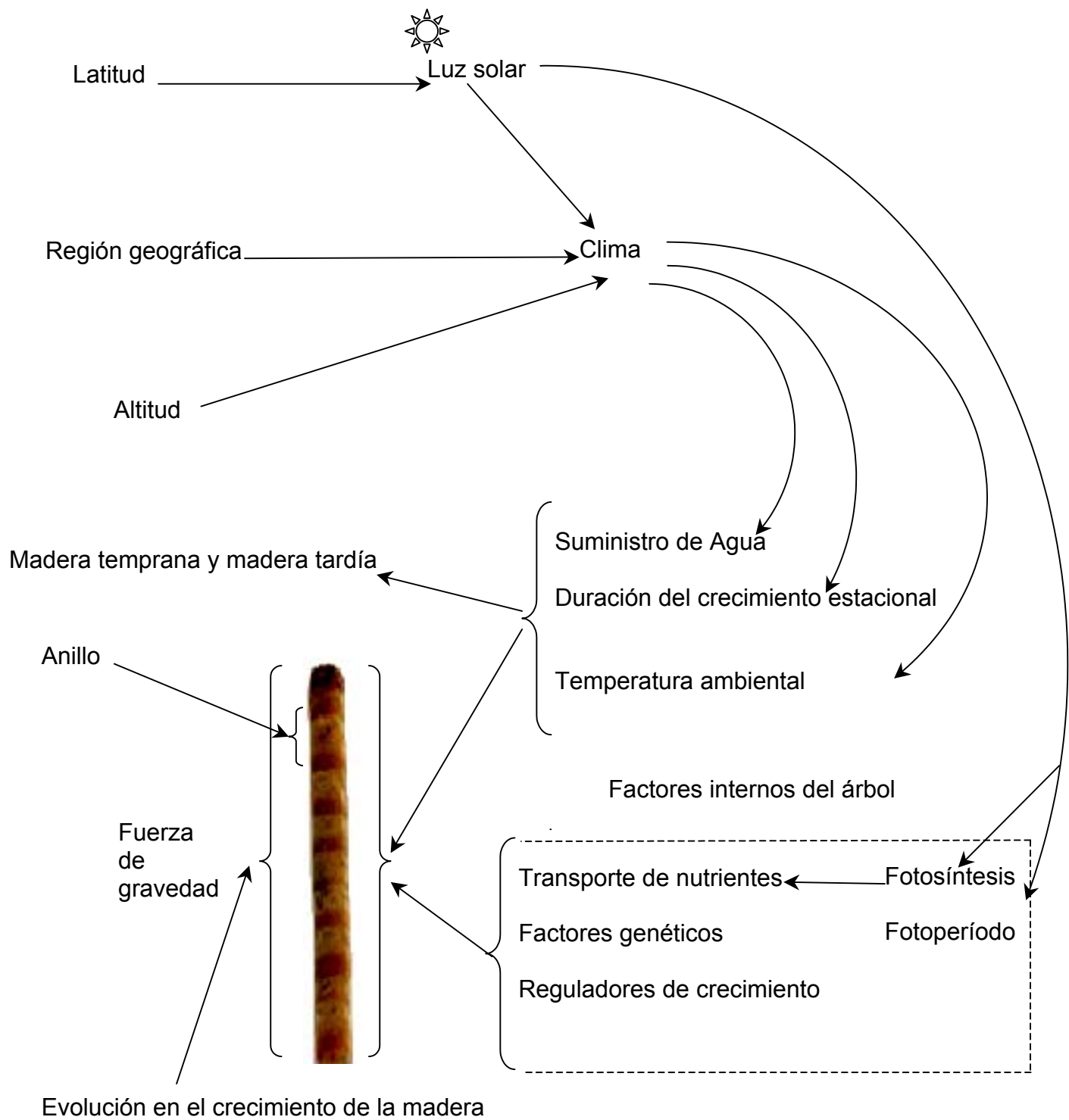


Figura 1. Esquema de factores internos y externos que influyen en la formación de la madera (Tomado de Creber y Chaloner, 1984).

### 2.2.1 Formación de anillos

La formación de anillos anuales en árboles es observado como el resultado de la periodicidad en los tipos de elementos formados por el cámbium (Fahn *et al.*, 1983); una vez que las hojas han formado suficientes carbohidratos para la producción de células, comienza el crecimiento radial en la primera parte de la primavera (Hocker, 1984), donde el primer brote de crecimiento es rápido y estimula la producción de madera joven. Adelantada la temporada, con un acortamiento del fotoperíodo, el crecimiento se detiene, la síntesis hormonal cambia y la madera madura queda diferenciada (Fahn *et al.*, 1983); la suspensión de la división celular es asociada con la reducción en la disponibilidad de auxinas y carbohidratos, ocurriendo cuando las condiciones sufren cambios de baja disponibilidad de agua, baja temperatura y se reduce así la actividad fisiológica de la copa (Daniel *et al.* 1982). Esto se puede observar especialmente en árboles de bosques templados, que es donde la actividad cambial cesa durante el invierno (Creber y Chaloner, 1984) y el cámbium permanece en latencia hasta la próxima primavera (Fahn *et al.*, 1983).

Se produce así una relación entre los anillos y los años (Creber y Chaloner, 1984). En árboles vigorosos, el anillo de crecimiento anual es progresivamente más angosto a medida que desciende en el tallo, pero se extiende nuevamente cerca de la base (Young, 1991).

### 2.2.2 Madera tardía y madera temprana

El índice de madera tardía y madera temprana varía mucho con cada anillo (Creber y Chaloner, 1984). Las células de la madera de primavera pueden tener una pared más larga y más fina con puntuaciones rebordeadas (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984) y la madera de otoño o tardía tiene células lignificadas y paredes gruesas (Daniel *et al.*, 1982). La madera tardía inicia en la proximidad de la base del tronco en todas las edades y se va diferenciando hacia arriba conforme avanza la estación y el engrosamiento acaba hacia la punta, llegando a desaparecer cuando se aproxima al ápice. Esta evolución está en función a la edad y a la distancia de la copa. La madera temprana es más ligera en peso que la tardía y la proporción de cada una influye en la densidad de la madera (Creber y Chaloner, 1984).

Creber y Chaloner (1984) mencionan que la influencia de los factores externos, se puede observar en la madera por la presencia o ausencia de los anillos, la anchura de los anillos, la proporción de madera temprana y tardía, así como la madera de transición; los anillos “falsos” y la evidencia de daños por heladas, animales o fuego.

### 2.2.3 Madera juvenil y madera madura

La madera juvenil es formada cerca del centro del árbol; el número de anillos desde el centro determina la formación de ésta y puede variar desde 5 a 20 anillos, dependiendo de la especie; se encuentra determinada por la edad, de manera que depende de la tasa de crecimiento; la cual a su vez depende del vigor y el tamaño de la copa del árbol. La madera juvenil se caracteriza por su baja densidad, lo que se debe a la escasa proporción de madera tardía (Daniel *et al.*, 1982; Zobel y Talbert, 1988). Los árboles producen principalmente madera madura en la base y juvenil cerca de la copa; la madera juvenil existe dentro del árbol como un semicilindro (Zobel y Talbert, 1988).

### 2.2.4 Tipo de ritmos anuales

Fahn *et al.* (1983) dice que al acercarse hacia el Ecuador, la periodicidad climática se vuelve menos evidente y la actividad cambial se ve influenciada por características del lugar; distinguiéndose así en forma general tres tipos de ritmos anuales para las regiones de Israel:

- a) En plantas mediterráneas, el ritmo anual es similar al de zonas templadas y la actividad del cámbium comienza en primavera y cesa al final del verano o principios del otoño.
- b) En zonas desérticas, la actividad del cámbium comienza al inicio del período de lluvias (noviembre y diciembre) y cesa al inicio de la temporada seca (fines de abril – principios de junio).
- c) En árboles tropicales y subtropicales, el cámbium parece, por lo general, estar activo durante todo el año.

## 2.3 Densidad y peso específico de la madera

Brown y Panshin (1949), Smith (1954), Panshin y De Zeew (1964) y Zobel y Talbert (1988) definen el peso específico como la relación del peso de un volumen de madera y la del equivalente en volumen de agua; mientras que la densidad de la madera sólo difiere en que es expresada en peso sobre volumen cúbico ( $\text{lb pie}^{-3}$ ,  $\text{g cm}^{-3}$  o  $\text{Kg m}^{-3}$ ), indicando así la densidad relativa de la madera.

### 2.3.1 Propiedades que influyen en la densidad de la madera

El peso de la madera es comúnmente calculado con base en el peso y volumen en la pieza, pero también tiene mucho que ver el contenido de humedad (Panshin y De Zeew, 1964), el agua que pasa por las cavidades entre las células y la que es absorbida por las células (Brown y Panshin, 1949). La humedad que afecta a las propiedades de la densidad de la madera es el agua higroscópica (está adherida a las paredes celulares) o sea la humedad menor al punto de saturación de la fibra y que generalmente es mínima; ya que arriba del punto de saturación casi no afecta a las propiedades de la madera (Becerril, 1993).

Para Panshin y De Zeew (1964), Zobel (1964) y Zobel y Talbert (1988), los principales cambios en las propiedades de la densidad de la madera se ven afectadas por:

- a) El tamaño de las células; entre más pequeñas sean el número es mayor y el peso específico aumenta.
- b) El grosor de la pared celular; indica que alguna de las células poseen el doble de grosor en su pared, en relación con el diámetro del lumen y por lo tanto ocupan más espacio.
- c) La cantidad de madera de verano; dado que ésta cumple con las dos características anteriores.

### 2.3.2 Variaciones en la densidad de la madera

Goggans (1961) menciona que la densidad misma varía a través de los incrementos de crecimiento dependiendo de los factores ambientales que



influyen en el crecimiento del árbol. Existiendo así diferentes niveles de variación en la densidad de la madera (Zobel y Talbert, 1988).

a) Variación dentro del árbol

Yáñez y Caballero (1991) mencionan que la densidad relativa en el árbol presenta variaciones según las diferentes secciones de crecimiento. Pueden variar desde la médula o centro hacia fuera o de la base del tronco hacia la copa o ápice (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984; Zobel y Talbert, 1988). Hacia fuera existe un incremento en la densidad y una disminución hacia la parte superior (Goggans, 1961), la baja densidad en la copa depende del suplemento de carbohidratos y hormonas de crecimiento; la longitud de ramas, determinan la distancia del follaje del tronco, el vigor de copa, teniendo un efecto en esta interacción (Jozsa y Brix, 1989).

Pero la primera variación que se presenta es en cada anillo de crecimiento (Daniel *et al.*, 1982). Donde la edad, el índice de crecimiento, la proporción de madera tardía y la existencia de madera juvenil son factores que se encuentran ligados a la densidad de las coníferas (Goggans, 1961).

b) Variación entre árboles

Para los genetistas forestales es importante reconocer la gran variación de las cualidades entre árboles de la misma especie y edad que crecen en un mismo sitio (Zobel, 1964; Zobel y Talbert, 1998). Incluso en poblaciones con ambiente similar se puede tener una variación genética, teniendo ventajas diferentes en la formación de la madera en árboles individuales (Creber y Chaloner, 1984).

c) Variación entre sitios y áreas geográficas

En numerosos estudios se reporta una alta variabilidad de densidad entre sitios y localidades o regiones geográficas (Goggans, 1961). Se han encontrado rodales naturales con peso específico alto que pueden producir árboles con bajo peso específico (Zobel, 1964).

Zobel y Talbert (1988) encontraron que la gravedad específica de *Pinus taeda* decrece de Sur a Norte y de Este a Oeste de acuerdo a su rango natural; siendo así diferentes entre localidades geográficas. También un estudio en *Abies*

*alba* Mill. muestra que en el Norte de Europa hay una ligera baja en la densidad de la madera ( $0.51 \text{ g cm}^{-3}$ ) comparada con provincias del Sureste y centro ( $0.53 \text{ g cm}^{-3}$  y  $0.54 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente) (Larsen y Mekic, 1990). Pero por lo general, las diferencias que se presentan son causa del ambiente y no por herencia (Zobel y Talbert, 1988), aunque la gravedad específica en coníferas esté controlada por la herencia (Goggans, 1961).

### 2.3.3 Importancia de la densidad de la madera

Conocer la densidad de la madera es importante. Becerril (1993) menciona que la calidad de madera deseada dependerá de su composición química, de la estructura anatómica, de sus propiedades físico - mecánicas, etc., designando así la madera para el uso que en verdad vaya de acuerdo a sus características; y de esta manera llegar a optimizar la utilización del recurso. Para Harris (1963) y Hocker (1984) la densidad de la madera se encuentra relacionada con las propiedades de resistencia o fuerza, con el rendimiento y calidad de pasta para la producción de papel, así como la calidad de maquinado para el procesamiento al encalado y acabado maderable. Encontrando que el descenso de densidad puede disminuir la resistencia mecánica (Aguirre, 1982).

Pero la importancia de la densidad de la madera para fines industriales radica en la determinación de las toneladas en fibra producida por árbol por año, o bien, calcular los kilogramos de fibra producida por árbol por año y así señalar directamente la producción de pulpa y papel para fines específicos (Wright, 1991) ya que en programas productivos de pulpa y papel, el peso específico es la única característica de la madera que se puede manipular genéticamente (Zobel y Talbert, 1988). Szymanski y Tauer (1991) encontraron que la densidad de la madera en *Pinus taeda* en Arkansas es una característica altamente heredable ( $h^2 = 0.50$  a  $0.76$ ); considerándose así como cualidad básica de la madera y por lo tanto un pequeño incremento o decremento puede tener un impacto en la producción.

En *Pinus rudis* Endl. en Arteaga, Coahuila, se encontró una densidad media de  $0.53 \text{ g cm}^{-3}$ , valor que indica una madera de tipo pesada, la cual es buena para la producción de celulosa y papel (Valencia y López, 1999).

Otro estudio realizado por Yáñez y Caballero (1991) en *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. en tres entidades, Oaxaca, Veracruz y Chiapas, encontraron que su densidad es de  $0.35 \text{ g cm}^{-3}$  y los usos de la madera de esta especie no requieren de mucha resistencia ya que es madera liviana. Recientemente en Durango sobre *Pinus arizonica*, se encontró una densidad de la madera aproximada a  $0.49 \text{ g cm}^{-3}$ , indicando así que esta especie puede emplearse en material para celulosa, construcción y fabricación de muebles, molduras y artículos torneados (Borja *et al.*, 1997).

## 2.4 *Pinus arizonica* Engelm.

Este pino fue descrito por Engelmann en 1878 y se cree que es variante del *Pinus ponderosa*. Martínez (1948) menciona que este pino presenta características que ameritan considerarlo en su categoría de especie y que tiene cierta afinidad con el *Pinus engelmannii*. Es comúnmente llamado pino chino, pino blanco o pino cenizo. Para algunos autores es *Pinus arizonica* para otros *Pinus ponderosa* var. *arizonica* (Rzedowski, 1978).

### 2.4.1 Distribución

Pérez *et al.* (1981) mencionan que vegeta en los estados de Sonora, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Durango, San Luis Potosí y Guerrero. Perry, (1991) la localiza a lo largo de la Sierra Madre Occidental, al Noreste de Sonora, Oeste de Chihuahua, así como al Oriente de Sinaloa y Durango, y en los Estados Unidos al Sur de Arizona y Suroeste de Nuevo México. Eguiluz, (1978) menciona que *Pinus arizonica* se encuentra formando rodales puros de grandes dimensiones, pero puede asociarse con *Pinus engelmannii*, *P. durangensis*, *P. leiopylla* y *P. chihuahuana*.

Sprague (1922) y Rzedowski (1978) afirman que existen poblaciones amplias y abundantes, en los estados de Chihuahua y Sonora, en altitudes que van desde los 1800 a los 3000 m.s.n.m. y donde las especies más abundantes son *Pinus arizonica* en las partes superiores y *Pinus engelmannii* hacia las inferiores, ambas relacionadas con *Pinus ponderosa*. Mientras que Perry (1991) encontró que esta especie crece en rangos altitudinales de 2000 a 2800 m.s.n.m., en las montañas de Chihuahua y Sonora con precipitaciones promedios

de 500 a 600 mm anuales. Estos árboles tienen un marcado crecimiento en suelos bien drenados, en valles y mesas. *Pinus arizonica* forma extensivos bosques en Durango; sin embargo, se registran intensivos niveles de pequeñas poblaciones dispersas en las regiones más accesibles; en Chihuahua se localiza al Oeste de la ciudad La Junta, en Tres amigos y Ocampo, donde estas áreas son montañosas; otra área con cierto número de sitios de la especie se encuentra al Oeste de la ciudad de Madera. López (2001) presenta una distribución de *Pinus arizonica* en la Sierra Madre Occidental, dentro de la Sierra Tarahumara, con rangos altitudinales mayores a 2400 y menores a 3000 m.s.n.m., en pendientes leves que van de 0 a 5%, rangos de temperatura de 8 a 12° C y rangos de precipitación media que van de los 800 a 1000 mm anuales. Edáficamente, la especie, se encuentra sobre suelos feozem háplico y regosol eútrico.

#### 2.4.2 Características de la madera

Martínez (1948) describe la madera de esta especie como blanda, débil, algo quebradiza, de textura fina, de color rojo claro o amarillento; con peso específico promedio de 0.50. Pérez *et al.* (1981) encontraron que la albura de la madera presenta un color blanco o amarillo muy pálido en la madera temprana y amarillo paja en la tardía; el duramen es castaño rojizo en la madera temprana y rojizo en la tardía; anillos de crecimiento perfectamente delineados por una banda oscura de madera tardía y una banda clara de madera temprana, la madera temprana ocupa más de la mitad del total del anillo, la transición de temprana a tardía es abrupta. En un estudio realizado sobre características macroscópicas y microscópicas de la madera de *Pinus arizonica*, se encontró que la densidad de la madera puede ser pesada o semipesada; con olor característico; lustre alto o medio; textura media o fina e hilo recto; veteado pronunciado; con traqueidas dentadas que tienen una longitud larga con diámetro mediano, el espesor de la pared muy delgado, con puntuaciones areolada; con canales radiales y tiene resina (Cevallos y Carmona, 1981).

#### 2.4.3 Usos

*Pinus arizonica* es una de las especies más utilizadas en el Noroeste de México, se utiliza en la construcción y ebanistería (Rzedowski, 1978).

Esta especie tiene una amplia gama de usos como postes para líneas de transmisión, madera aserrada, caja para empaque, durmientes, celulosa para papel y con menor frecuencia chapa, triplay, tableros de partículas, usos locales en utensilios caseros, postes para cercas y leña para combustible (Pérez *et al.*, 1981). Es recomendado para plantaciones comerciales y con fines de recuperación de suelos degradados; puede ser ornamental (Eguiluz, 1978).

### III MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1 Descripción del área

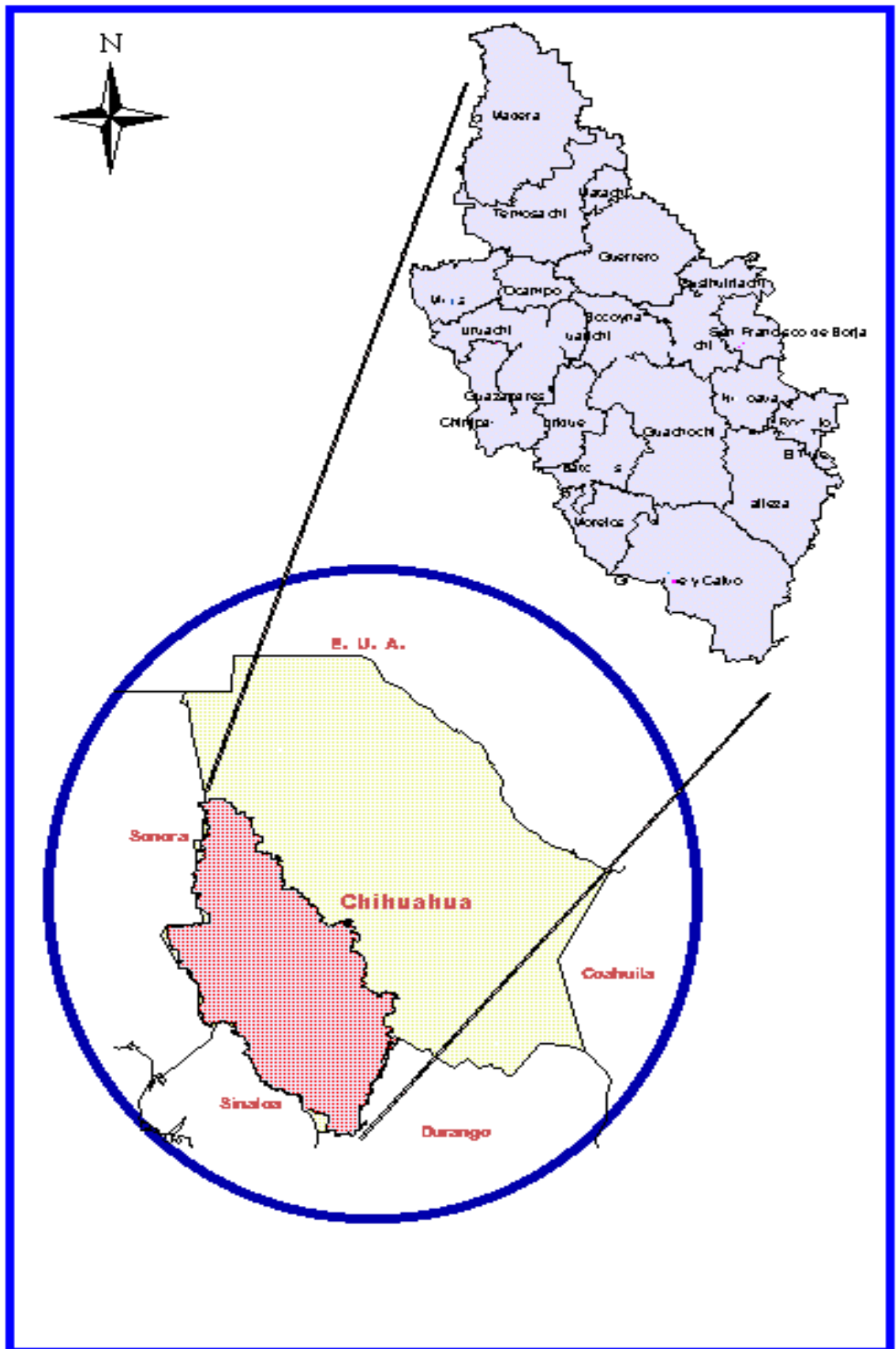
La Sierra Tarahumara se encuentra al Suroeste del estado de Chihuahua (Figura 2) entre los meridianos 106° 03'00" y 109° 07' 00" de longitud Oeste y los paralelos 25° 56' 00" y 29° 96' 00" de latitud Norte, cuenta con una superficie aproximada de 71,231.133 km<sup>2</sup> (UAAAN, 1999). *Pinus arizonica* se distribuye de manera aproximada en 1317.49 km<sup>2</sup> a lo largo de la Sierra, abarcando la zona

Sur, centro y Norte (López, 2001). Cuenta con diferentes vías de acceso que incluyen carreteras, caminos de terracería, brechas y veredas (INEGI, 1981).

Las regiones estudiadas se encuentran dentro de la 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 (SPP, 1982). En la Sierra Madre Occidental, *Pinus arizonica* crece principalmente en altitudes de 2400 a 3000 m.s.n.m. (López, 2001). Pero, Perry (1991) reporta a la especie en los rangos de 2000 a 2800 m.s.n.m., al Oeste del centro de la Junta, dirigiéndose a la cascada de Basaseachi y la Villa de Yepachic, Tres amigos y Ocampo, las cuales son áreas montañosas, también en sitios a 10 km al Oeste de Madera.

La región Tarahumara se ubica en la provincia geológica de la Sierra Madre Occidental, comprendida con substrato basal prevolcánico y un conjunto de rocas volcánicas. Sin embargo, existen pequeñas superficies de rocas sedimentarias o calizas (SPP, 1981b). De acuerdo con López (2001) en la Sierra Tarahumara *Pinus arizonica* se encuentra asociado a los suelos feozem háplico y regosol eútrico, que de acuerdo a una sectorización de la Sierra el feozem háplico abunda en el sector Macizo Centro, en el Macizo Norte y en el Plano Nororiental; mientras que el regosol eútrico es característico del Macizo Centro (SPP, 1981a).

En cuanto a hidrología, la Sierra Tarahumara se integra en cuatro regiones hidrológicas; Sinaloa, Sonora, Río Bravo–Conchos y Cuencas Cerradas del Norte, pero predominan las tres primeras en cuanto a superficie. Estas a su vez comprenden diez



(Fuente: Basado en UAAAN, 1999).

Figura 2. Ubicación geográfica de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

subcuencas, siendo principales por su abundancia la subcuenca del Río Fuerte y la subcuenca del Río Yaqui (SPP, 1981c).

La Sierra Tarahumara presenta los tres tipos de climas básicos (UNAM, 1970), pero *Pinus arizonica* habita en sitios con temperaturas medias anuales de 9 y 10 °C, en rangos que van de 8 a 12 °C y con precipitaciones que abarcan rangos de 600 a 1000 mm, con una precipitación media anual de 700 a 900 mm (López, 2001). El clima con el que se asocia la especie de interés es el clima templado húmedo. Caracterizado por tener inviernos benignos, con una temperatura media del mes más caliente inferior a los 18°C y superior a 10°C. La temperatura del mes más frío de -3°C, coincide con el límite de las zonas cubiertas de nieve por un mes o más. Este tipo de climas se distribuye sobre las sierras, cañadas, mesetas y llanuras (García, 1987).

En la Sierra Tarahumara predominan los bosques de *Pinus* siendo las especies más importantes *Pinus arizonica*, *P. lumholtzii*, *P. reflexa*, *P. durangensis* y *P. engelmannii*, localizándose entre 1,800 y 3,000 m.s.n.m. Las plantas leñosas asociadas a estos tipos de vegetación son *Arbutus*, *Pseudotsuga*, *Abies* y *Picea* (INEGI,1985). *Pinus arizonica* comúnmente forma rodales puros, pero puede estar asociado con *Pinus chihuahuana*, *P. lumholtzii*, *P. reflexa*, y *P. engelmannii* y en menor grado con *Pinus cooperi*, *P. ayacahuite var. brachyptera*, *P. cembroides*, *Quercus crassifolia* y *Pseudotsuga sp* (Eguiluz, 1978).

## 3.2 Trabajo de campo

La colecta de datos de campo fue realizada por dos brigadas de trabajo, encargadas de muestrear la zona Norte y Sur de la Sierra.

### 3.2.1 Muestreo de sitios

Se realizó un diseño de muestreo sistemático – selectivo, que permite que la selección de las unidades de muestreo (árboles), sea fácil, rápida y aplicable en campo. Se encuentra aleatoriamente la primera unidad (Abad y Servin, 1993) y se toma en línea un orden en las unidades siguientes a la primera



muestra (Azorin, 1969). De esta manera se toman los sitios y árboles con características y condiciones específicas, a lo largo de la Sierra Tarahumara.

Se ubicaron las principales carreteras, terracerías y brechas transitables de la Sierra Tarahumara, Chih. Esta red de caminos se utilizó para ubicar los puntos de muestreo, para ello se iniciaba en un punto de cada ruta y cada 4 Km se ubicaba un punto de muestreo que debía estar a una distancia de 300 a 600 metros de la orilla del camino y dentro del bosque o área arbolada.

El recorrido se utilizó para estudiar tres especies de importancia económica de la Sierra Tarahumara, Chih., *Pinus arizonica*, *P. engelmannii* y *P. durangensis*. Ubicándose 57 sitios de *Pinus arizonica*, de estos sitios únicamente 45 se emplearon para el presente estudio, ya que había muestras de madera dañadas, incompletas o con clasificación equivocada.

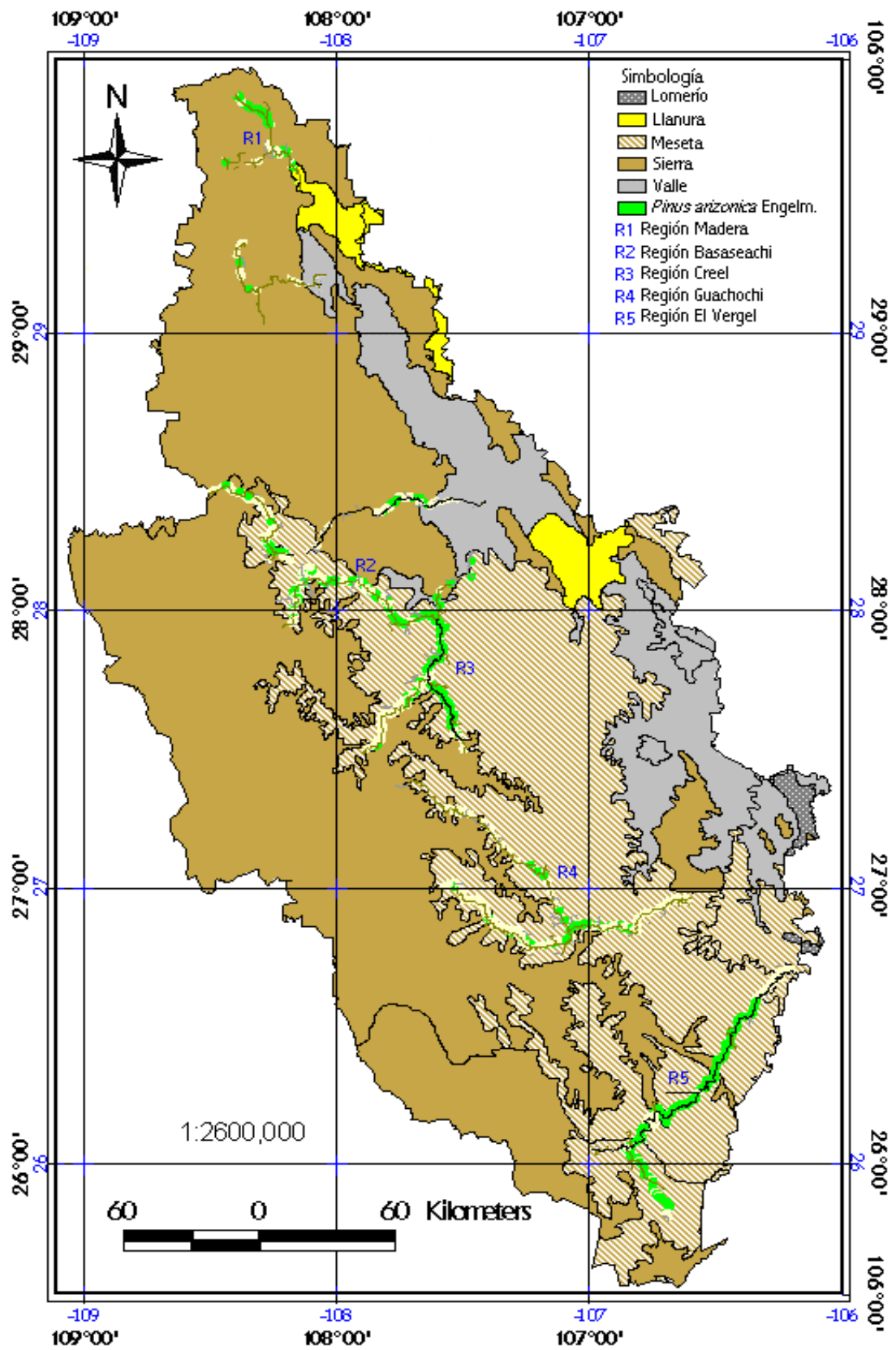
Los 45 sitios de muestreo corresponden a cinco regiones (Figura 3), de acuerdo a las diferentes topoformas y a la agrupación por tipo de vegetación. Los sitios, árboles y municipios que conforman cada región se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Regiones estudiadas con número de sitios, árboles y municipios que conforman cada una de las regiones.

Región	Sitios	# de árboles	Municipios
Madera	2	10	La Norteña, El Maderal, Las Varas, Guadalupe Victoria y Madera
Basaseachi	12	56	Tomochi, Basaseachi y Pico Real
Creel	19	94	Tonachi, San Juanito, Creel y Cusarare
Guachochi	7	24	Napuchis, El Rosado y Guachochi
El Vergel	5	22	El Verjel y El Ocote

### 3.2.2 Muestreo del arbolado

En cada sitio se eligieron 5 árboles de *Pinus arizonica* con las siguientes características: que fueran árboles dominantes o codominantes, con copa completa y no dañada por plagas, enfermedades o por fuego. Árboles que no fueran de repoblaciones artificiales o inducidas; árboles no bifurcados, sin evidencias de podas,



Fuente: UAAAN, 1999.  
 (Basado en la carta topográfica 1: 250,000. SPP, 1980 y la carta fisiográfica 1: 1000,000. SPP, 1982)  
 Figura 3. Ubicación de las cinco regiones estudiadas en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

cortas o decadencias. De cada árbol se registraron datos de: altura, altura del fuste limpio, diámetro normal, grosor de corteza, incrementos (edad).

La extracción de virutas se realizó con un taladro de Pressler, en cada muestra se anotó el número de árbol, de sitio y de ruta, a las muestras se les aplicó fungicida para evitar daños por hongos y se colocaron en popotes con perforaciones. Total de muestras analizadas 206 árboles.

### 3.3 Trabajo en laboratorio

#### 3.3.1 Saturación y seccionado de muestras

Las muestras de virutas obtenidas en campo, se saturaron en un recipiente con agua, hasta alcanzar el punto de saturación de la fibra, para esto fueron pesadas constantemente en una balanza analítica con una precisión de diez milésima de gramo hasta que dejó de variar el peso en cada muestra. Antes de ser seccionada la viruta se obtuvo la edad del árbol contando el número de anillos a partir del centro. Posteriormente, la muestra fue seccionada desde el centro (médula) hacia la corteza, cada 20 anillos. Cada sección fue marcada con lápiz graso en orden alfabético, de la A hasta la G. Las muestras se colocaron en vasos con agua para mantenerlas saturadas durante las mediciones. Las muestras se etiquetaron en apego a la ruta, el sitio, el árbol y la sección.

#### 3.3.2 Medición de madera temprana y madera tardía

De cada sección se tomaron, para fines prácticos, 6 observaciones, los primeros tres anillos y los tres últimos, y obtener así un promedio general considerado representativo de los 20 anillos. A cada uno de estos seis anillos se le midió la anchura total y el ancho de madera temprana, mediante el microscopio estereoscópico, el cual cuenta con un micrómetro (regla) con precisión de 0.09 mm, en uno de sus objetivos. Para determinar la proporción de madera tardía (PMT) se restó el ancho de la madera temprana al ancho total de cada anillo y con estos datos fue posible estimar para cada muestra un promedio de proporción de madera tardía y de incremento corriente anual en diámetro normal.

En la determinación de la proporción de madera tardía se dividió la longitud de la madera tardía entre la longitud total del anillo. En el análisis estadístico se obtuvo un promedio por sección mediante 6 anillos. Para la determinación del incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) se sumó la longitud total de los 6 anillos, después se multiplicó por 2 (diámetro normal) y posteriormente se dividió entre los 6 anillos, de manera que se tiene:

$$PMT = \sum Ta/To \qquad \text{ICA-DN} = (To \times 2)/6$$

Donde:

PMT= proporción de madera tardía

ICA-DN= incremento corriente anual en diámetro normal

Ta = longitud de madera tardía (6 anillos)

To = longitud total (6 anillos)

### 3.3.3 Determinación de la densidad de madera

Una vez, saturadas las muestras se procedió a determinar la densidad de la madera, mediante la obtención del peso verde o saturado de la viruta y el peso seco o anhidro de la viruta. Primero quitando el exceso de humedad con un paño y pesando las virutas en una balanza analítica con precisión de diez milésima de gramo, obteniendo así el peso verde de cada sección. Posteriormente, las muestras se colocaron en charolas de aluminio en una estufa de secado a una temperatura de 100 °C durante 36 horas. Desde el momento de ser sacadas las muestras del horno hasta ser pesadas, fueron transportadas en una campana de desecación con silicagel y se dejó reposar durante 30 minutos antes de ser pesadas, para evitar que adquirieran humedad ambiental. Determinando así el peso anhidro o seco.

Con los datos obtenidos se determinó la densidad de la madera, mediante el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954). En este método se emplea la siguiente fórmula:

$$D.M. = \frac{1}{\frac{Ps - Pa}{Pa} + \frac{1}{1.53}}$$

Donde:

D.M. = densidad de la madera ( $\text{g cm}^{-3}$ )

Ps = peso saturado (g)

Pa = peso anhidro (g)

1.53 = constante (gravedad específica de la madera sólida)

### 3.4 Procesamiento y análisis estadístico

Los datos obtenidos de densidad de la madera y proporción de madera tardía de *Pinus arizonica* fueron procesados y analizados en el paquete computacional SAS (Statistical Analysis System versión 6.08). Se creó una base de datos, que corresponde a los datos obtenidos en laboratorio mediante las virutas extraídas de cada árbol

En el análisis estadístico de los datos de laboratorio se obtuvieron tres variables; la densidad de la madera (DM), la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN). Los cuales muestran la magnitud de la variación y el comportamiento que tiene cada variable dentro de las cinco regiones de la Sierra Tarahumara. Cabe señalar que el análisis fue realizado sólo para 80 años, evitando que las diferencias en edad alteren los resultados.

Para cada variable se realizó un análisis de varianza considerando un diseño completamente al azar con diferente número de repeticiones, donde cada región es un tratamiento. El modelo estadístico aplicado fue:

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

$i = 1, 2, 3, 4, 5$  (Regiones)

$j = 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 \dots 94$  (número máximo de árboles dentro de cada región)

Donde:

$Y_{ij}$  = valor observado

$\mu$  = efecto de la media general

$R_i$  = efecto de la  $i$  – ésima región

$\varepsilon_{ij}$  = efecto del  $j$  – ésimo árbol en la  $i$  – ésima región (error experimental)

El número de muestras tomadas por región y por sitio, varía de acuerdo a la disponibilidad en cada lugar y al buen estado en que se encuentra cada muestra. Seleccionando también sólo aquellas que no muestran alteraciones, debido al alto contenido de resinas, a problemas de duraminización y el que los rangos de las edades no sean muy pequeñas (20 años), o bien que sobrepasen las cuatro primeras secciones (80 años) de la viruta. Obteniendo así datos que fuesen lo más uniforme posible, es decir, con edades uniformes.

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

Cuadro 2. Componentes de los cuadrados medios esperados para las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual, en las cinco regiones.

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

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;  $\sigma^2 e$  = varianza del error;  $\sigma^2 \text{Reg}$  = varianza de la región; K = media armónica del número de árboles por región.

Sin embargo, 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 variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal; en este tipo de procedimiento fue:

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

$i = 1, 2, 3, 4, 5$  (Regiones)

$j = 1, 2, 3, 4, 5 \dots 19$  (número máximo de sitios de cada región)

$k = 1, 2, 3, 4, 5 \dots 94$  (número máximo de árboles dentro de cada región)

Donde:

$Y_{ijkl}$  = valor observado

$\mu$  = 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

$\varepsilon_{ijkl}$  = 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)

Obteniendo de este modelo, los componentes de varianza que muestran, el efecto de cada región, el efecto sitio dentro de regiones y el efecto árboles dentro de sitios. Los componentes de los cuadrados medios esperados se muestran en el Cuadro 3.

**Cuadro 3 Componentes de los cuadrados medios esperados para las variables densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual para un modelo anidado o jerárquico.**

F.V.	g.l.	C.M.	Cuadrados medios esperados
------	------	------	----------------------------

Región	$R - 1$	CMR	$\sigma^2 e + K \sigma^2 \text{ Arb (Reg (Sitio))} + K_1 \sigma^2 \text{ Sit (Reg)} + K_2 \sigma^2 \text{ Reg}$
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)	$R S (na - 1)$	CMA	$\sigma^2 e + K \sigma^2 \text{ Arb (Reg (Sitio))}$
Error	$\sum (nm - 1)$	CME	$\sigma^2 e$

F.V. = fuente de variación; g.l. = grados de libertad; C.M. = cuadrados medios; CMR = cuadrados medios de las regiones; CMS = cuadrados medios de los sitios dentro de las regiones; 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 poblaciones;  $\sigma^2 \text{ Sit (Reg)}$  = varianza de sitios dentro de regiones;  $\sigma^2 \text{ Reg}$  = varianza de las regiones; K = constante de ajuste media armónica del número de árboles dentro de regiones;  $K_1$  = constante de ajuste media armónica del número de sitios dentro de regiones;  $K_2$  = constante de ajuste media armónica del número de muestras (sección de viruta) por regiones.

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión



El promedio general de la densidad de la madera (DM) tuvo un valor de  $0.42 \text{ g cm}^{-3}$  (Cuadro 4), con valor máximo de  $0.63 \text{ g cm}^{-3}$  y un valor mínimo de  $0.30 \text{ g cm}^{-3}$ .

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 arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Variable	N	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo	S	C. V. (%)
DM ( $\text{g cm}^{-3}$ )	718	0.30	0.42	0.63	0.053	12.60
PMT	718	0.04	0.17	0.48	0.072	42.59
ICA – DN ( $\text{mm año}^{-1}$ )	718	0.81	4.97	22.14	2.84	57.15

N = Número de observaciones, S = Desviación estándar de la media, C.V. = Coeficiente de variación en porcentaje.

Martínez (1948) reporta para *P. arizonica* una densidad con valor de  $0.50 \text{ g cm}^{-3}$ , mientras que para la misma especie en Durango, Borja *et al.* (1997) señalan un valor de  $0.49 \text{ g cm}^{-3}$ . Si se comparan estos valores con el valor promedio general obtenido ( $0.42 \text{ g cm}^{-3}$ ) se puede notar un menor valor en el presente estudio, en este caso se trata de muestras que corresponden a una altura de 1.3 m y una edad igual o menor a 80 años en árboles dominantes o codominantes, mientras que en los otros estudios no señalan la condición de los árboles, la edad ni el número de muestras. Lo anterior hace difícil realizar una comparación útil. Aunque en los dos primeros casos, los valores son semejantes entre ellos y difieren con este estudio. Sin embargo, los tres coinciden con Cevallos y Carmona (1981), en que la clasificación de la madera de *Pinus arizonica* es “moderadamente pesada” de acuerdo con la clasificación de Markward y Heck (tomada de Echenique y Díaz, 1969).

Se tiene así que la madera de esta especie de acuerdo a su densidad, puede emplearse en material para celulosa, para muebles, caja para empaque, durmientes, postes, cercas y leña para combustible como mencionan Pérez *et al.* (1981) y Borja *et al.* (1997).

La densidad de la madera promedio reportada para otras especies de coníferas es muy variable. Por ejemplo,  $0.53 \text{ g cm}^{-3}$  para *Pinus rudis* Endl. de

Arteaga, Coah. (Valencia y López, 1999),  $0.47 \text{ g cm}^{-3}$  para *P. teocote* Sch. et Cham., de la Trinidad, Montemorelos, N.L. (Trujillo, 1999) y  $0.35 \text{ g cm}^{-3}$  para *P. strobus* var. *chiapensis* de tres localidades, Oaxaca, Veracruz y Chiapas (Yáñez y Caballero, 1991). Se sabe que *P. rudis* en Arteaga, Coah. es de lento crecimiento, puesto que crece en climas templados fríos, comparado con *P. strobus* var. *chiapensis* que crece más rápidamente puesto que en las tres localidades estudiadas el clima es cálido, y *P. teocote* de Montemorelos, el cuál crece de manera intermedia en comparación con estas especies, lo cual refleja de algún modo que existe una correlación negativa entre la velocidad de crecimiento y la densidad de la madera (Daniel et al., 1982; Zobel y Talbert, 1988), por lo tanto, la velocidad de crecimiento provoca una pérdida en la densidad de la madera y viceversa (Valencia y Vargas, 2001). Desde el punto de vista de la producción maderera se debe tener en cuenta que una disminución del 5% de la densidad de la madera daría por resultado una reducción de 10 a 20% de la resistencia, a la flexión en la compresión paralela al grano y en la dureza (Daniel et al., 1982). Zobel y Talbert (1988) mencionan que existe variación de la madera entre especies; en donde la densidad de la madera es específica para cada especie o tipo de madera (Huerta, 1993). Pero que sin duda, la densidad de la madera en coníferas es controlada por la herencia (Goggans, 1961). Además de que influyen otros factores, tanto ambientales como genéticos (Creber y Chaloner, 1984).

La densidad de la madera presenta una  $S = \pm 0.053 \text{ g cm}^{-3}$  y que si se considera una distribución normal se tiene que alrededor del 95% de la población presenta una densidad de madera entre  $0.42$  y  $0.41 \text{ g cm}^{-3}$  lo cual muestra que es una característica variable en esta especie.

Se encontró un coeficiente de variación de 12.60% lo cual confirma que esta característica es variable, como en el estudio reportado por López (1997) para *Pinus greggii* Engelm. con valor de 9.43% y para *Pinus rudis* con valor de 11.47% (Valencia y López, 1999). Por lo que la densidad de la madera de coníferas es una característica muy útil para los programas de mejoramiento genético, debido a su que variabilidad y heredabilidad se pueden manipular para obtener características deseadas en la industria. El análisis de la variación genética y ambiental es difícil, por lo tanto se requiere de numerosos estudios para llegar a un punto óptimo (Callaham, 1964). Además de que se corre el riesgo

de disminuir características de una especie, al uniformizar otras. Es por eso importante definir el uso que se le va a dar a la madera.

Otra característica importante de la madera es la proporción de madera tardía que muestra una media general con valor de 0.17 por anillo (Cuadro 4), cuyo máximo fue de 0.48 y el mínimo valor fue de 0.04. Para esta característica  $S = \pm 0.072$ , por lo que si se considera una distribución normal se tiene alrededor del 95% de la población con una proporción de madera tardía que se encuentra entre 0.18 y 0.16 lo cual confirma que es una característica de mayor variación, comparada con la densidad de la madera.

La proporción de madera tardía es una característica que varía mucho y que está correlacionada positivamente con el crecimiento estacional, el cual demuestra que durante el verano o el otoño se produce más madera tardía (Creber y Chaloner, 1984) y que depende del clima y del suelo húmedo, para un total de crecimiento estacional (Cregg *et al.*, 1988). Se tiene así que el índice de madera temprana y madera tardía son el reflejo de los cambios ambientales sucesivos de un año a otro. Además de que existen cambios dentro del mismo árbol, es decir, de manera general en el centro del árbol la proporción de madera tardía es menor y cerca de la corteza la proporción de madera tardía es mayor (Creber y Chaloner, 1984).

También la proporción de madera tardía es una característica de la madera que determina diferencias en sus propiedades, como lo es con la densidad de la madera (Zobel y Talbert, 1988). Valencia y Vargas (2001) encontraron una correlación genética fuerte entre la densidad de la madera y la proporción de madera tardía con valor de  $r=0.69$ . En otros estudios se encontró que la densidad de la madera puede estar altamente correlacionada con la mayoría de las propiedades de la madera y que es una característica influenciada por el largo y diámetro de las células, por el grosor de la pared celular, por la proporción relativa de madera de primavera (temprana) y de madera de verano (tardía) (Jett y Talbert, 1982). Asimismo la proporción de madera tardía tiene por lo regular una gran influencia en la densidad de la madera y juega un papel importante en ella (van Buijtenen, 1964), en *Pinus taeda* se observa que describe aproximadamente el 49% de la variación en la densidad de la madera (Clayton, 1964).

La proporción de madera tardía en el presente estudio tuvo un coeficiente de variación de 42.59%. La proporción madera tardía a diferencia de otras características de la densidad de la madera crece continuamente y probablemente se ve más afectada por las variaciones ambientales que por otros componentes de la densidad de la madera (Hernández y Adams, 1992). Es por esto el alto valor presentado del coeficiente de variación.

El incremento corriente anual en diámetro normal (Cuadro 4) tuvo una media general de 4.97 mm año<sup>-1</sup>, con un valor máximo de 22.14 mm año<sup>-1</sup> y un mínimo 0.18 mm año<sup>-1</sup> y  $S = \pm 2.84$  mm año<sup>-1</sup>, de manera que considerando una distribución normal se tiene que alrededor del 95% de la población tiene una proporción de madera tardía que se encuentra entre 5.18 y 4.76 mm año<sup>-1</sup>

Una característica importante de los árboles es el continuo crecimiento o desarrollo, ya que como menciona Willan *et al.* (1993) de ser tan sólo pequeñas semillas se transforman en grandes masas de varias toneladas y es por eso la importancia de su variabilidad. Pero como ya se ha hecho mención el período estacional tiene cierta relación con el crecimiento de los anillos (Creber y Chaloner, 1984) y es ahí en donde se presenta la primer variación de crecimiento (Daniel *et al.*, 1982), ya que la mayoría de los árboles exhiben una variación anual en producción fotosintética y actividad del cámbium entre el invierno y el verano, lo cual afecta el tamaño de las recién formadas células del xilema (Swain *et al.*, 1983). Se conoce que en árboles vigorosos, el anillo de crecimiento anual es progresivamente más angosto a medida que desciende en el tallo, pero se extiende nuevamente cerca de la base; en árboles suprimidos de lento crecimiento el anillo total es más delgado que en árboles vigorosos y escasa o nula la cantidad de madera que se deposita en la parte inferior del tallo y en contraste los árboles dominantes, con grandes copas a menudo presentan aumento en el espesor del anillo en toda longitud, hasta la base del tallo (Young, 1991). Se muestra de esta forma que el crecimiento por anillo o anual presenta una enorme variación y amplitud.

El incremento corriente anual presenta un coeficiente de variación de 57.15%, el cual es mayor que el de la densidad de madera y la proporción de madera tardía. Por lo tanto, se considera que la influencia del ambiente en el

crecimiento anual es mayor que en las otras dos características y como señalan Zobel y Talbert (1988) cualquier factor que afecte la fisiología y el crecimiento de un árbol puede afectar el tipo de madera formada. Esto puede observarse en la productividad de un rodal en donde la altitud afecta el crecimiento de los árboles, como se presenta en *Picea abies* en Francia, en donde a 1200 m.s.n.m el incremento de madera anual fue de  $12 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  y a los 1650 m.s.n.m la madera redujo a  $1.2 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  (Creber y Chaloner, 1984).

#### 4.1.1 Tendencias a través del tiempo (edad)

Los valores promedio no siempre reflejan la tendencia a través del tiempo. El comportamiento 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 arizonica* en la Sierra Tarahumara, Chih., a través del tiempo (edad) se ve en la Figura 4.

La densidad de la madera tuvo valores crecientes hacia la corteza pero, además, con un valor ligeramente alto en el centro del árbol; debido a que puede estar afectada por la presencia de extractivos en el duramen (Wiemann y Williamson 1989), mientras que la proporción de madera tardía tiene el comportamiento de crecer hacia la corteza y el incremento corriente anual en diámetro normal tiene un comportamiento inverso. Se presenta en este estudio una correlación ligera y positiva de la edad del árbol con las dos primeras variables ( $r=0.18$  y  $r=0.06$ , respectivamente), con una probabilidad de  $P=0.0001$ ; pero que con el incremento corriente anual la correlación fue negativa ( $r=-0.28$ ).

En un estudio de *Pinus taeda*, la densidad de la madera a diferentes edades va aumentando de forma moderada  $0.33 \text{ g cm}^{-3}$  a los 7 años,  $0.37 \text{ g cm}^{-3}$  a los 10 años,  $0.42 \text{ g cm}^{-3}$  a los 15 años,  $0.45 \text{ g cm}^{-3}$  a los 20 años,  $0.47 \text{ g cm}^{-3}$  a los 25 años y  $0.48 \text{ g cm}^{-3}$  a los 30 años (Zobel y van Buijtenen, 1989), mientras que se observa en la proporción de madera tardía de *Pseudotsuga* como

decrece durante los primeros cuatro años, a los 7 años fue de 0.38%, y a los 11 años tuvo 0.21% y en años

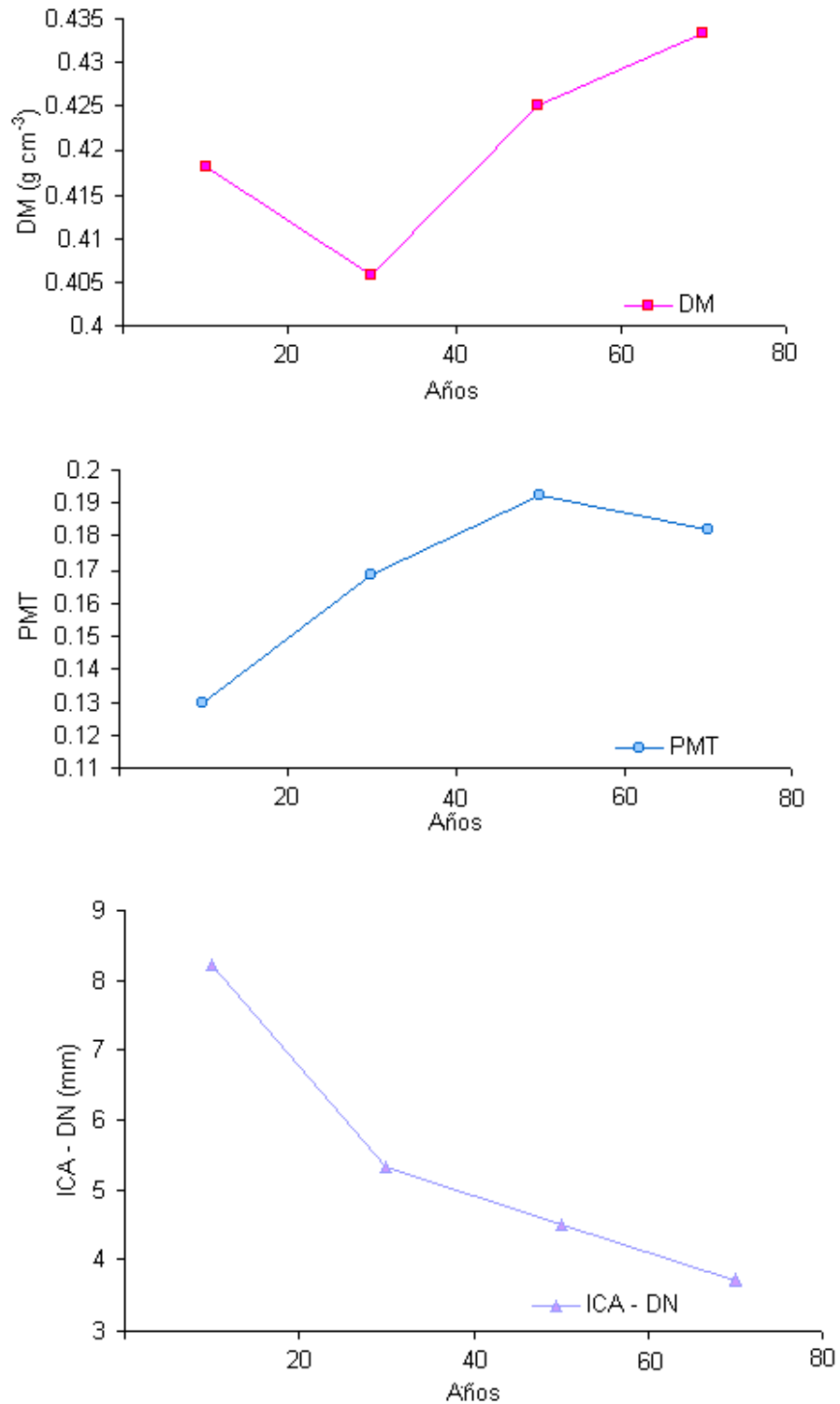


Figura 4. Comportamiento a través del tiempo de las variables densidad de la madera (DM), la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

posteriores se mantiene equilibrado el valor (Hernández y Adams, 1992).

También para *Pinus greggii* del Norte de México se encontró que la densidad de la madera presenta un patrón de continuidad que va de la médula hacia afuera, donde en el centro presenta  $0.46 \text{ g cm}^{-3}$  y al final se obtiene  $0.48 \text{ g cm}^{-3}$ , demostrando así que la densidad aumenta con el tamaño del árbol (López, 1997). Asumiendo que la forma de crecimiento influye en las propiedades de la madera. Como mencionan Daniel *et al.* (1982) y Zobel y Talbert (1988) en donde la madera juvenil se forma cerca del árbol y que el número de anillos desde el centro determina su formación; encontrándose determinada por la edad, de manera que depende de la tasa de crecimiento, la cual a su vez depende del vigor y el tamaño de la copa del árbol.

En cambio en el incremento corriente anual en diámetro normal, se asume que en edades tempranas el árbol presenta un crecimiento más acelerado que cuando es maduro y que es debido a que el crecimiento se vuelve más lento (Swain *et al.*, 1983), mientras que Klepac (1976) menciona que el crecimiento en diámetro es pequeño al inicio, después aumenta hasta alcanzar una alta actividad y llega a ser muy reducido en árboles viejos. También es atribuible a la forma que tiene el árbol, ya que en edades tempranas la copa es pequeña y la disposición de nutrientes es mayor, que cuando el árbol es grande, alto y la copa mayor. En el incremento corriente anual se observa que a mayor tamaño del tronco, mayor es el área basal, debido a que el área basal depende y está en función del diámetro; reflejando claramente un aumento en el volumen (González, 2000).

Es importante la relación que las variables puedan tener entre ellas, ya que conforme dos aumentan a través de los años, otra tiende a disminuir. Encontrando así una correlación positiva entre la densidad de la madera y la proporción de madera tardía ( $r=0.29$ ), mientras que con el incremento corriente anual en diámetro normal la correlación de ambas fue negativa ( $r=-0.14$ ,  $r=-0.22$ , respectivamente), con una probabilidad de  $P=0.0001$ .

Valencia y Vargas (2001) encontraron una alta correlación ( $r=0.69$ ) genética significativa entre la densidad de la madera y la proporción de madera tardía. En otros estudios se observó que la densidad de la madera puede estar

altamente correlacionada con la mayoría de las propiedades de la madera y que es una característica influenciada por el largo y diámetro de las células, por el grosor de la pared celular, por la proporción relativa de madera de primavera (temprana) y de madera de verano (tardía) (Jett y Talbert, 1982). La proporción de madera tardía tiene por lo regular una gran influencia en la densidad de la madera y juega un papel importante en ella (van Buijtenen, 1964); por lo que la correlación de la densidad de la madera y la proporción de madera tardía es alta (Zobel y Jett, 1995). También se se ha reportado que existe correlación entre la proporción de madera tardía y la densidad de la madera ( $r = 0.60$ ) y que la densidad de la madera tardía es de 2 a 2.5 del peso de la madera (Zobel y van Buijtenen, 1989). En *Pinus taeda* se encontró una alta y positiva correlación de estas dos propiedades ( $r = 0.62$ ) (Szymanski y Tauer, 1991).

Se ha reportado una correlación negativa en *Pseudotsuga menziesii* entre la densidad de la madera con el índice de crecimiento (Zobel y van Buijtenen, 1989). Muchas coníferas con maderas densas, muestran poca o no manifiestan relación entre el índice de crecimiento y la densidad de la madera (Zobel y Jett, 1995). Zobel y Talbert (1988) mencionan que la tasa de crecimiento y la densidad de la madera, en forma general, son genéticamente independientes para algunas especies, ya que no se puede evitar el desarrollo de árboles de crecimiento rápido con densidades altas.

#### 4.3 Variación entre regiones, sitios y árboles

La variabilidad de la densidad de la madera (DM), la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) en *Pinus arizonica* entre regiones, sitios y árboles de la sierra Tarahumara, Chih., se presenta por separada para cada una de las variables.

Se encontró que la densidad de la madera muestra una gran variabilidad entre los árboles de un mismo sitio (22.3%) y que la mayor variación era presentada en el error (64.7%), mientras que la menor variación se observa en las regiones y en los sitios (9.6% y 3.4%, respectivamente). Estadísticamente se encontró que la densidad de la madera tiene una variación alta dentro de cualquier fuente de variación ( $P=0.0001$ ) (Cuadro 5).



Cuadro 5. Componente de cuadrados medios y de la variación estimada para la densidad de la madera (DM) de *Pinus arizonica*, entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

DM (g cm <sup>-3</sup> )							
F.V.	g.l.	CM	Fc	Pr > F	C.V. E.	C. V. E. %	
Reg	4	0.037	19.45**	0.0001	0.00028	9.6	
Sit (Reg)	40	0.005	3.00**	0.0001	0.00010	3.4	
Arb (Sit Reg)	149	0.004	2.18**	0.0001	0.00065	22.3	
Error	471	0.001			0.00189	64.7	
CV = 10.4%							

F.V. = Fuente de variación; g.l. = Grados de libertad; C.M. = Cuadrados medios; Fc = Valor calculado de "F"; Pr > F = Probabilidad de error tipo I ( $\infty$ ); C.V.E. = Componente de variación estimada, C.V.E.% = Componente de variación estimada en porcentaje; Reg. = Regiones; Sit = sitios; Arb = árboles; C. V. = coeficiente de variación; \*\* = Significativo al 0.01.

En *Pinus taeda* se encontró que la variación de la densidad de la madera entre árboles es de 70%, entre regiones geográficas del 15% y una mínima variación entre sitios (Zobel y Tabert, 1988). En otro estudio en *Pinus taeda* se muestra que existe variación entre sitios y entre árboles de diferentes áreas geográficas; en un sitio se presenta una media de densidad de la madera con rango de 0.49 a 0.60 g cm<sup>-3</sup> y en otro sitio un rango de 0.47 a 0.57 g cm<sup>-3</sup> (Craig *et al.*, 1966).

Yáñez y Caballero (1991) encontraron en *Pinus strobus var. chiapensis* diferencias para la densidad de la madera entre árboles con 30 % de variación y para sitios 59%. Valencia y López (1999) encontraron una variación en la densidad de la madera de *Pinus rudis* entre árboles y dentro de árboles con 59.8 y 20.3%, respectivamente. Se observa así que la variación de la madera entre árboles dentro del área geográfica resalta más que la misma variación geográfica (Zobel, 1964). Sin embargo, en los Estados Unidos se encontró que la variación de la densidad de la madera en *Pinus taeda*, presenta diferencias entre la región Oeste comparada con la región Este de su distribución natural (Szymanski y Tauer, 1991). Se han realizado estudios en otras especies como el *Liriodendron tulipifera* L. al Norte de Carolina, Estados Unidos; en donde se encontró que la densidad de la madera tuvo diferencias significativas (P=0.01) entre árboles dentro de sitios y entre sitios dentro de áreas; también hay diferencias significativas (P=0.05) para las áreas dentro de regiones. Se encontró que la

influencia entre sitios sobre densidad de la madera, es baja (21%) comparado con la diferencia entre árboles (49%) que fue mayor (Clay, 1967). Se observa que la variación puede darse dentro de la especie, también que existe variación dentro de una población o región y que dicha variación es debida en parte a diferencias genéticas y en otra a las diferencias ambientales (Furnier, 1997), pero también puede tener variación genética en la formación de la madera de árboles individuales, incluso si tienen crecimiento en un ambiente similar (Creber y Chaloner, 1984).

En los resultados de este estudio se ve claramente que siguen la misma tendencia a otros estudios realizados sobre densidad de la madera, ya que la mayor variación se presenta entre los árboles, posteriormente entre regiones y sitios; pero siempre se encuentra cierta variación significativa a cualquier nivel o fuente de variación. La mayor variación ocurre en el error, la cual es atribuida a que en ésta se encuentran todos los componentes externos que afectan el crecimiento del árbol, como lo son los factores climáticos y las características de las localidades. Ya que al haber competencia por espacio y por nutrientes la densidad es mayor, o bien por el contrario disminuye cuando hay más espacio.

En el análisis de la proporción de madera tardía se observa que existe una mayor variación dentro de regiones y árboles (7.9 y 6.4%, respectivamente), en cambio la variación es menor dentro de sitios (4.6%). El grado de variabilidad del error muestra que es mayor a todas las demás fuentes de variación siendo este de 81.2% (Cuadro 6).

También, en otros estudios se ha encontrado que la proporción de madera tardía en regiones geográficas presenta significancia (Szymanski y Tauer, 1991). Pero se ha observado que es un componente de la madera que influye directamente en la densidad de la madera y el cual puede variar hasta un 100% entre árboles de una misma especie y edad (Zobel y Talbert, 1988), siendo sin duda el índice de madera temprana y madera tardía el reflejo de las condiciones de los cambios ambientales sucesivos, representados durante el crecimiento estacional (Creber y Chaloner, 1984).

Cuadro 6. Componente de cuadrados medios y variación estimada para la proporción de madera tardía (PMT) de *Pinus arizonica*, en sitios y árboles de las regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

<b>PMT</b>						
F.V.	g.l.	CM	Fc	Pr > F	C.V.E.	C.V. E. %
Reg	4	0.053	12.9**	0.0001	0.00061	7.9
Sit (Reg)	40	0.008	2.09**	0.0002	0.00021	4.6
Arb (Reg Sit)	149	0.005	1.26**	0.0353	0.00032	6.3
Error	471	0.004			0.00419	81.2
CV = 38.6%						

F.V. = Fuente de variación; g.l. = Grados de libertad; C.M. = Cuadrados medios; Fc = Valor calculado de "F"; Pr > F = Probabilidad de error tipo I ( $\infty$ ); C.V.E. = Componente de variación estimada; C.V.E.% = Componente de variación estimada en porcentaje; Reg. = Regiones; Sit = sitios; Arb = árboles; C. V. = coeficiente de variación; \*\* = Significativo al 0.01, \* = Significativo al 0.05.

En forma general esta propiedad tiene mayor grado de variación que la densidad de la madera entre las regiones, los sitios y los árboles. Por lo tanto, se asume que esta característica depende más del ambiente que le rodea y cambia constantemente a nivel anillo. En el componente de variación estimado se tiene que es poco atribuible en las regiones, los sitios y los árboles mientras que el error presenta el mayor porcentaje. Esto no quiere decir que exista error en el análisis, sino que existen otras causas que influyen más en la variación de la proporción de madera tardía, como lo es la temperatura, la precipitación y las características del suelo.

En el incremento corriente anual en diámetro normal se encontró que no hubo variación entre los árboles dentro de sitios y que la mayor variación se presenta entre los sitios de las regiones (11.7%), y una menor en las regiones con valor de (2.3%). Sin embargo, el error es la fuente que presenta la mayor variación (89.2%) (Cuadro 7).

Goggan (1961) menciona que los índices de crecimiento tienen efectos estadísticamente menores en diferentes niveles o fuentes de variación. Mientras que Larsen y Mekic (1990) observaron en un estudio de *Abies alba* que la variación en el índice de crecimiento entre procedencias puede ser atribuida a la diferencia entre regiones. Esto es atribuible a que el incremento en diámetro del árbol depende del ambiente y que es mayor cuando hay más espacio, lo mismo sucede con la luz (Klepac, 1976). Por lo que el incremento corriente anual en

diámetro normal es una característica que depende más de factores externos como lo demuestra el error, ya que presenta el mayor porcentaje. Mientras que a nivel árbol no se encontró ningún efecto, por lo tanto, se atribuye que el incremento en diámetro depende de los cambios estacionales, de las sequías y de las heladas, así como del espacio de crecimiento.

Cuadro 7. Componente de cuadrados medios y de la variación estimada para el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) de *Pinus arizonica*, entre regiones, sitios y árboles de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

<b>ICA-DN</b>						
F.V.	g.l.	CM	Fc	Pr > F	C.V.E.	C.V.E. %
Reg	4	41.971	5.66**	0.0002	0.194	2.3
Sit (Reg)	40	20.861	2.81**	0.0001	0.974	11.7
Arb (Sit Reg)	149	6.495	0.88NS	0.8328	-0.271	0
Error	471	7.419			7.419	89.2
C.V.= 52.7%						

F.V. = Fuente de variación; g.l. = Grados de libertad; C.M. = Cuadrados medios; Fc = Valor calculado de "F"; Pr > F = Probabilidad de error tipo I ( $\infty$ ); C.V.E. = Componente de variación estimada; C.V.E.% = Componente de variación estimada en porcentaje; Reg. = Regiones; Sit = sitios; Arb = árboles; C.V. = coeficiente de variación; \*\* = Significativo al 0.01; NS = no significativo.

Zobel (1964) ha observado que existe una relación vaga para explicar la variación de la madera a diferentes niveles, mediante el ritmo de crecimiento y las condiciones ambientales, teniendo así que se necesita más de una característica para observar la variación natural. Pero, que en general la mayoría de las características económicas en árboles forestales presentan una gran variabilidad en árboles individuales (Goggan, 1961; Zobel y Talbert, 1988).

#### 4.3 Variación entre regiones

##### 4.3.1 Análisis de varianza y componentes de varianza

En el presente estudio ocurrieron diferencias en la variación 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 arizonica*, entre regiones de la Sierra Tarahumara, Chih. (Anexo 2), mediante una separación de medias Tukey (Cuadro 8).

Cuadro 8. Prueba de separación de medias, mediante la Agrupación Tukey, para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía(PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) de *Pinus arizonica* entre regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Regiones	DM		PMT		ICA-DN	
	$\bar{x}$ (gr m <sup>-3</sup> )	Agrupación Tukey	$\bar{x}$	Agrupación Tukey	$\bar{x}$ (mm)	Agrupación Tukey
Madera	0.464	<b>a</b>	0.225	a	6.434	a
Basaseachi	0.430	a b	0.164	b	5.939	a
Creel	0.403	b	0.155	b	5.043	a
Guachochi	0.426	b	0.188	a b	4.691	a
El Vergel	0.419	b	0.169	b	4.385	a

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes  $\alpha= 0.05$ .

Para la densidad de la madera las regiones de Madera y de Basaseachi, son estadísticamente iguales. Pero la región de Madera es diferente a las regiones de Creel, de Guachochi y El Vergel. En algunos estudios se ha encontrado que la variación de la densidad de la madera es altamente significativa entre regiones; como es el caso de *Abies alba* en Europa (Larsen y Mekic, 1990). Otro estudio sobre densidad de la madera se realizó en localidades de Guatemala en *Pinus tecunumanii* donde se observa una clara diferencia entre regiones de Este y Oeste con rango de 0.51 a 0.56 g cm<sup>-3</sup> (Eguiluz y Zobel, 1986).

Las diferencias que presenta la región de Madera pueden ser debido a que las condiciones geográficas y climáticas puedan influir en esa región ya que pueden ser muy específicas y diferentes, pero en cierta forma parecidas a la región de Basaseachi. Otra causa puede ser que en la región de Madera se encuentre una población, que presente tasas de crecimiento diferentes; ya que como mencionan Zobel y Talbert (1988) dos árboles pueden presentar las mismas condiciones ambientales pero con distintas tasas de crecimiento, el árbol con crecimiento rápido puede tener una densidad de la madera mayor o menor que el de crecimiento lento. Es posible modificar la velocidad de crecimiento, mediante el efecto de aclareo, cambiando significativamente la proporción de madera temprana y madera tardía presentes en cada anillo de crecimiento anual y por lo tanto, la densidad de la madera (Daniel *et al.*,1982)

El presente estudio muestra que la densidad de la madera de *Pinus arizonica* no sigue un patrón de decrecimiento de Sur a Norte, como en otros estudios, sino por el contrario va en aumento. Se encontró en Europa que *Abies alba* mostraba una baja densidad de  $0.51 \text{ g cm}^{-3}$  en regiones del Norte, comparándola con las regiones (procedencias) Sur y Centro con densidades de  $0.53$  y  $0.54 \text{ g cm}^{-3}$ , respectivamente (Larsen y Mekic, 1990). También en *Pinus taeda* se presentó un incremento en densidad de la madera con orientación de Sur a Norte (Jeet *et al.*, 1991). Pero en Arkansas en *Pinus taeda*, se muestra que la tendencia de la variación geográfica en densidad de la madera, tiende a ser lo contrario de la orientación *in situ*, indicando que el medio ambiente es un factor importante que influye en la densidad de la madera (Szymanski y Tauer, 1991). Se observa de esta forma que la tendencia de la densidad de la madera no siempre es igual, puesto que las condiciones geográficas y climáticas de México son muy diferentes a las de otros países.

Para la proporción de madera tardía el comportamiento es similar al de la densidad de la madera; ya que la región de Madera con valor de 0.23 es la única diferente estadísticamente a tres de las regiones (Basaseachi, Creel y El Vergel), con valores de 0.16, 0.15 y 0.17, respectivamente; pero que es similar a la región de Guachochi con valor de 0.19 (Cuadro 8).

La proporción de madera tardía es una característica de la madera que determina diferencias en sus propiedades, como lo es con la densidad de la madera (Zobel y Talbert, 1988). En un estudio de *Pinus taeda* se observó que cuando decrece la proporción de madera tardía, decrece por consiguiente la densidad de la madera y cuando se incrementa la proporción de madera tardía, la densidad de la madera tiende a ser mayor (Clayton, 1964). Además, como se mencionó anteriormente las diferencias en la región de Madera pueden ser atribuidas a los cambios del ambiente y a las características particulares que tenga dicha región, como es el suelo, los usos y aprovechamientos de los bosques o los incendios presentados.

No hubo diferencias significativas ( $P = 0.005$ ) para el incremento corriente anual en diámetro normal entre las cinco regiones (Cuadro 8). Por lo que la variación encontrada en el análisis de varianza (Anexo 2), es causada por

múltiples factores que no son explicables, pudiendo ser ambientales o bien características específicas de cada región; ya que conforme va creciendo el árbol año con año, bajo ciertas condiciones, el crecimiento en diámetro va variando. También se observa que el incremento corriente anual en diámetro sigue cierta tendencia que va de Norte a Sur, como lo presenta la densidad de la madera, en donde la región de Madera presenta un mayor incremento, mientras que la región de El Vergel tiene el menor valor, tal vez a que en la primera región exista mayor espaciamiento entre árboles, debido a los aprovechamientos o bien a los incendios que presente la región; mientras que en la región de El Vergel la densidad arbolada sea mayor.

#### 4.3.2 Tendencias a través del tiempo (edad) entre regiones

Los resultados sobre el comportamiento 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 arizonica* a través del tiempo, muestran que:

##### Densidad de la madera

La tendencia a través de los años de la densidad de la madera en la región de Madera, es diferente a las regiones de Basaseachi, de Creel, de Guachochi y de El Vergel, ya que presenta los valores más altos y tienden a disminuir del centro hacia la corteza del árbol (Figura 5). Manteniéndose dentro de un rango de 0.44 a 0.47 g cm<sup>-3</sup> (Anexo 4). Mientras que en las demás regiones la tendencia es contraria y la densidad de la madera presenta una correlación positiva con la edad ( $0.111 \geq r \leq 0.421$ ;  $P=0.003$ ) y aumenta del centro hacia la corteza.

La tendencia contraria de la densidad de la madera en la región de Madera, se puede asumir a que en esta se pudieran presentar altitudes más elevadas que en las demás regiones. En *Pinus ponderosa* se encontró que la densidad de la madera incrementa regularmente con la edad, en plantaciones con elevaciones medias y bajas, pero que decrece significativamente con la edad en plantaciones con elevaciones altas (Echols y Conkle, 1971). Otra causa puede ser

que la región presente características específicas del sitio, como la disposición de nutrientes del suelo, ya que como mencionan Zobel y Talbert (1988) la intensiva fertilización con nitrógeno disminuye la densidad de la madera durante un periodo de casi 5 años; o bien la disposición de espacio para crecer libremente, sin competencia, ya que árboles que crecen cerca ocasionan que disminuya la densidad de la madera con la edad (Daniel *et al.*,1982). Pero Hocker, (1984) menciona que la densidad de la madera tiende a aumentar de la médula hacia el exterior.

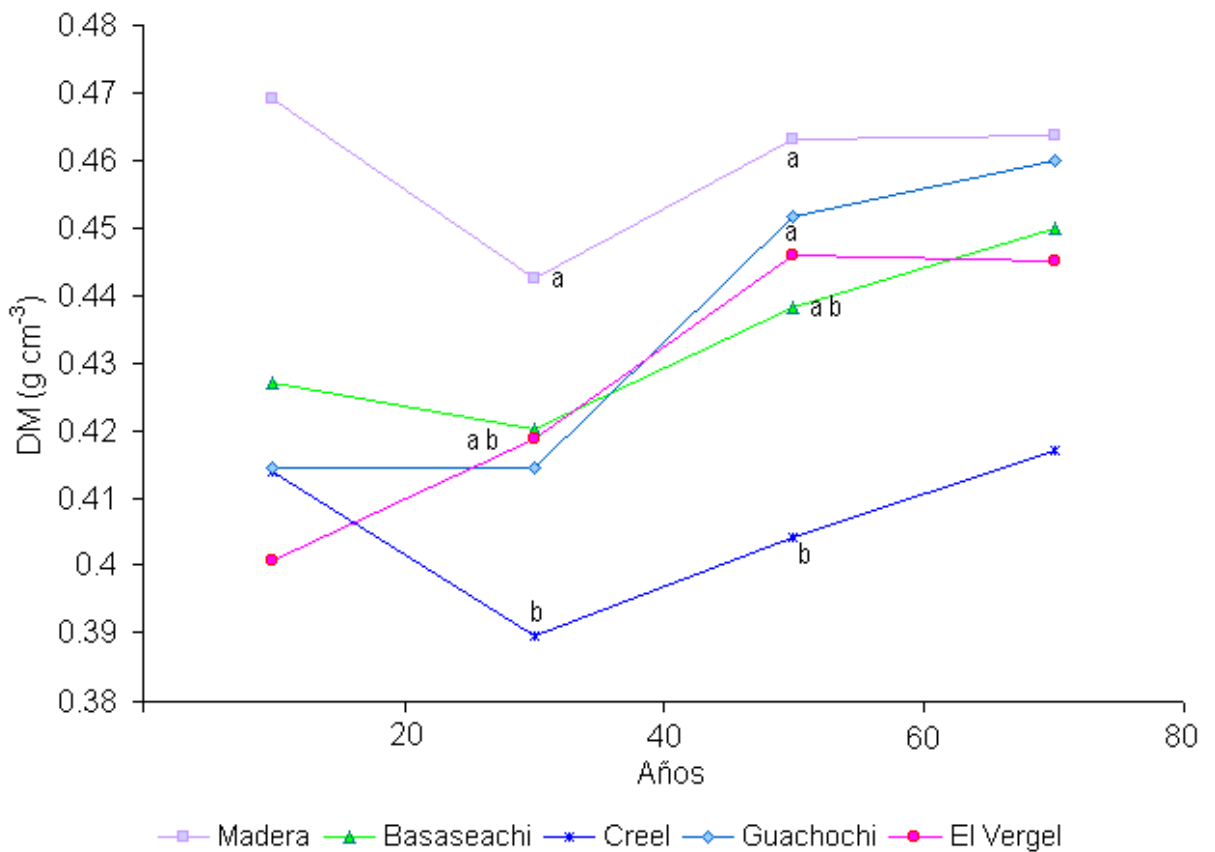


Figura 5. Comportamiento de la densidad de la madera (DM) de *Pinus arizonica* a través del tiempo, en cinco regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

Pero en todas las regiones se encontró una correlación negativa entre la densidad de la madera y el incremento corriente anual ( $-0.075 \geq r \leq -0.405$ ;  $P=0.002$ ), lo cual muestra que a medida que hay mayor incremento año tras año la densidad se ira reduciendo en cada anillo, o bien inversamente.



Al inicio del crecimiento (20 años) no hay diferencias significativas entre regiones (Anexo 3). Sin embargo, después de los 40 años las regiones de Madera y de Creel presentaron diferencias altamente significativas ( $P = 0.0001$ ) entre ellas (Figura 5); pero durante el periodo de 60 años la región de Creel es la única estadísticamente diferente ya que su valor es muy bajo ( $0.404 \text{ g cm}^{-3}$ ), pero igual a Basaseachi. También se señala que en el periodo de 80 años, no se realizó análisis de varianza, ya que no cumple con el supuesto de homogeneidad de varianzas en las regiones (Anexo 5). Por lo que la densidad de la madera en *Pinus arzonica* tiende a disminuir primero y posteriormente va aumentando del centro hacia la corteza como en otras especies

#### Proporción de madera tardía

La proporción de madera tardía en las regiones de Madera y Guachochi, tienen un comportamiento contrario a la densidad de la madera (Figura 6) ya que aumentan del centro a la corteza del árbol. Mientras que en las otras tres regiones se encontró que disminuyen. No se encontró correlación de la proporción de madera tardía con la edad en ninguna de las regiones.

Como ya se mencionó anteriormente estas variaciones pueden deberse a que en la región de Madera las condiciones son diferentes. Mientras que en la región Guachochi se observa que la proporción de madera tardía está fuertemente ligada a la densidad de la madera y se encontró una correlación positiva entre estas dos variables ( $r=0.517$ ;  $P= 0.0001$ ). Asumiendo que si la densidad de la madera en esta región aumenta con la edad, la proporción de madera tardía seguirá la misma tendencia. Pero Zobel y van Buijtenen (1989) mencionan que el crecimiento evolutivo que afecta la proporción de la madera tardía se ve influido más por los factores genéticos y ambientales. El crecimiento de la proporción de madera tardía fue constante y ocurrió en todas las edades.

Al inicio del crecimiento las regiones de Basaseachi y de Creel son iguales pero diferentes a la región de Madera (Anexo 4). Debido tal vez a que geográficamente se encuentran cercanos uno del otro y las condiciones pudieran ser parecidas. Pero la región de Madera se encuentra distante y las condiciones pueden ser diferentes.

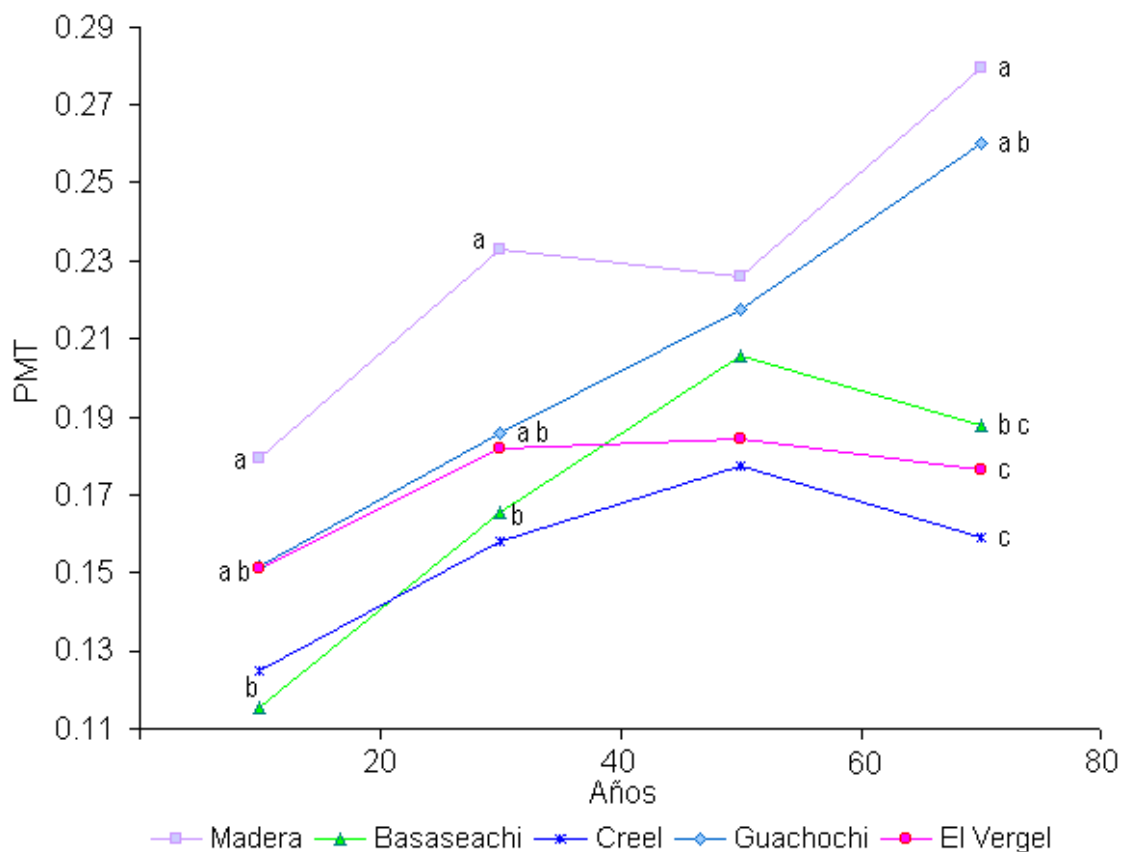


Figura 6. Comportamiento de la proporción de madera tardía (PMT) de *Pinus arizonica* a través del tiempo, en cinco regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

La proporción de madera tardía en la región de Creel presentó los valores más bajos y al igual que la región de Basaseachi los valores aumentan conforme crece el árbol, pero al llegar a los 60 años empiezan a disminuir. Sin embargo, la región de Guachochi es estadísticamente igual a la región de El Vergel a los 40 años pero son diferentes a los 80 años.

Creber y Chaloner (1984) mencionan que en los primeros anillos del árbol contienen una alta proporción de madera temprana, debido a la proximidad de los órganos foliares de la planta, mientras que la proporción de madera tardía crece gradualmente conforme la distancia de los órganos foliares crece. Por lo tanto, las regiones de Madera y de Guachochi tienen este comportamiento. Mientras que en las regiones de Basaseachi, de Creel y de El Vergel ocurre que a mayor edad disminuye la proporción de madera tardía (Anexo 4), ya que de los

60 a 80 años la proporción de madera tardía empieza a disminuir. Esto puede ser causa de las diferentes formas de crecimiento de cada árbol; ya que como se menciona con anterioridad, los árboles dominantes presentan anchos los anillos de crecimiento y la proporción de madera tardía es mayor que en árboles suprimidos.

A los 80 años las diferencias no son significativas entre las diferentes regiones, debiéndose sin duda a los cambios constantes que se desarrollan a lo largo de toda la Sierra Tarahumara. Tanto climáticos como a la disponibilidad de nutrientes, o a los cambios que se dan en espaciamiento debido al uso y aprovechamiento de los bosques.

#### Incremento corriente anual en diámetro normal

El crecimiento en diámetro en las cinco regiones va disminuyendo del centro hacia la corteza (Figura 7). En los periodos de 20 y 60 años las diferencias entre regiones son altamente significativas ( $P=0.003$  y  $0.0094$ , respectivamente); puesto que los cambios entre ellas son debidos seguramente a las características de cada región o bien a los climas que en ellas predominan, ya que las precipitaciones y temperaturas pudieron tener cambios fuertes en esos periodos. Siguen una tendencia de Norte a Sur, ya que lo muestran así sus diferencias estadísticas. Los valores más altos se presentan al Norte y los más bajos hacia el Sur, como se mencionó anteriormente. Se encontró una correlación negativa entre la edad y el incremento corriente anual en diámetro normal en las regiones ( $-0.101 \geq r \leq -0.506$ ;  $P=0.0001$ )

Zobel (1964) menciona que existen cambios de la madera a través del tiempo, mediante el crecimiento se observan estos cambios con la edad del árbol. Se demuestra que el incremento por anillo será más estrecho en los árboles adultos, puesto que como se menciona anteriormente tienen más proporción de madera tardía debido a que presentan más madera madura que los brinzales que se encuentran en producción de madera juvenil. Por lo tanto, es congruente el desarrollo que se presentan las regiones, al ir disminuyendo con la edad.

La región de Madera sobresale por su alto incremento en diámetro, la cual alcanza a los 20 años un valor de  $10 \text{ mm año}^{-1}$  y disminuye a  $5 \text{ mm}^{-1}$  a los 40 años; volviendo a aumentar y a disminuir en los dos últimos periodos 60 años =  $5.17 \text{ mm}^{-1}$  y 80 años =  $4.11 \text{ mm}^{-1}$  (Anexo 4), se observa que ésta región no sólo presentó altas cantidades de densidad de la madera, sino también tiene incrementos anuales mayores.

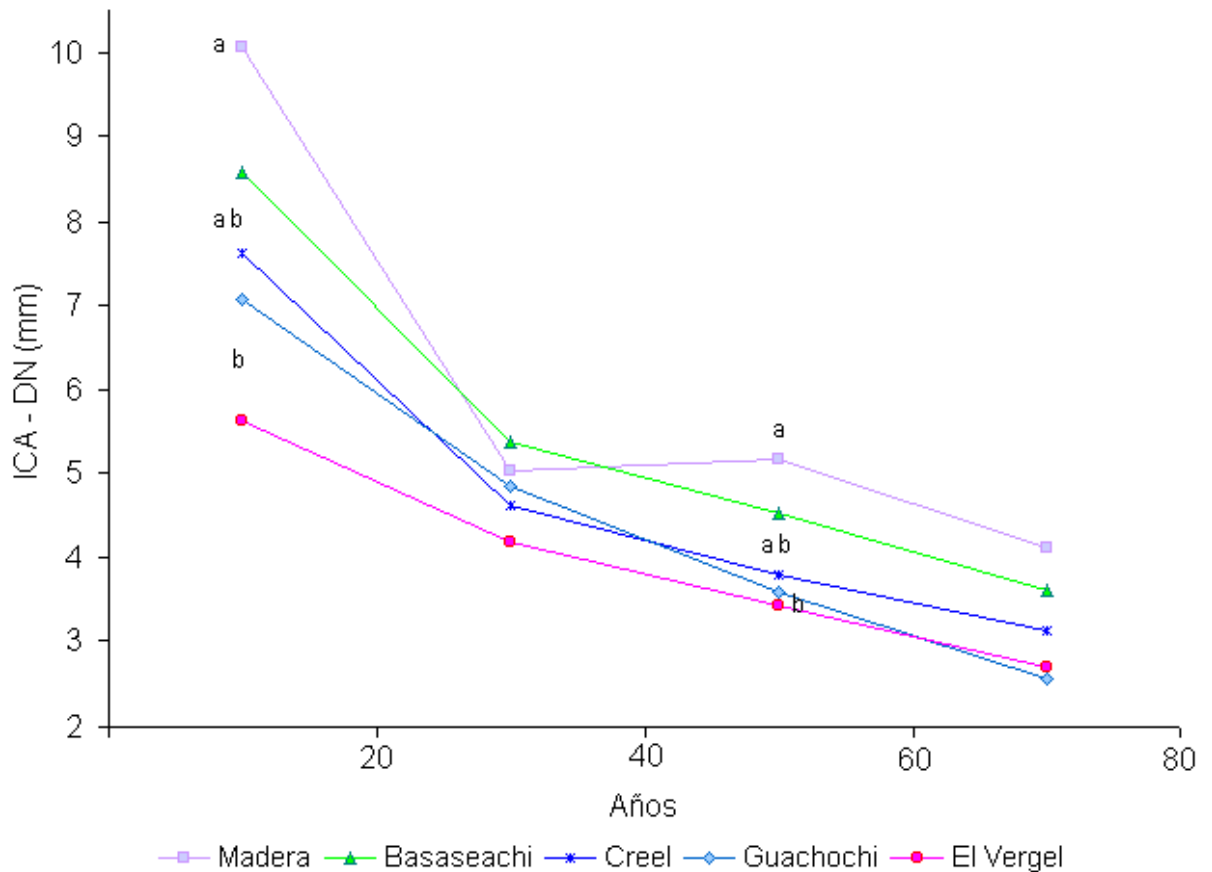


Figura 7. Comportamiento del incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) de *Pinus arizonica* a través del tiempo, en cinco regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua

Durante los períodos de 40 y 80 años no presentan diferencias estadísticas entre las regiones, pudiera ser que a los 40 años existan pocos cambios en el crecimiento, debido tal vez a que fue un periodo en el que hubo escasez de lluvias en la Sierra Tarahumara y el crecimiento solo se mantuvo constante, hasta que las condiciones fueron más favorables y volvió a incrementarse en el siguiente período. Mientras que en el período de 80 años las

igualdades son debidas tal vez a las diferentes tasas de crecimiento que presentan las regiones.

## V CONCLUSIONES

a) La densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. en la Sierra Tarahumara presenta una media general de  $0.42 \text{ g cm}^{-3}$  y se tiene que la madera es clasificada como moderadamente pesada.

b) La mayor variación de la densidad de la madera se presenta entre los árboles (22.3%) y posteriormente entre regiones y entre sitios (9.6 y 3.4%, respectivamente); mientras que la proporción de madera tardía presentó mayor variación entre regiones y entre árboles (7.9 y 6.4%), pero menor entre sitios (4.6%); en el incremento corriente anual no se encontró variación entre árboles y presentó mayor variación entre sitios (11.7%), y menor variación entre regiones (2.3%). También se encontró que el error representaba la mayor variación para las tres variables (64.7, 81.2 y 89.2%, respectivamente).

c) Se encontró diferencias significativas en la densidad de la madera (DM), la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA-DN) en las cinco diferentes regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua. La región de Madera sobresale por sus altos valores tanto en densidad de la madera ( $0.463 \text{ g cm}^{-3}$ ) como en proporción de madera tardía (0.225), pero siendo igual a la región de Basaseachi para DM y con una tendencia a disminuir de Norte a Sur. La proporción de madera tardía de la región de Madera es igual a la región de Guachochi. Para el incremento corriente anual no se encontró diferencias significativas entre regiones.

d) La tendencia a través del tiempo muestra que la densidad de la madera en la región de Madera decrece, mientras que en las demás regiones el crecimiento es contrario. Al inicio del crecimiento (20 años) no hay diferencias significativas entre regiones, pero después de los 40 años las regiones de Madera y de Creel presentan diferencias altamente significativas ( $P=0.0001$ ). Durante el periodo de 60 años la región Creel es estadísticamente diferente a tres de las regiones y siendo igual a Basaseachi. En el periodo de 80 años, no se realizó el análisis de varianza, ya que no cumple con el supuesto de homegenidad de varianzas en las

regiones. Se observa que la densidad de la madera en *Pinus arzonica* tiende a disminuir primero y posteriormente va aumentando del centro hacia la corteza como en otras especies.

e) La proporción de madera tardía a través del tiempo muestra que la región de Madera y de Guachochi van en aumento, mientras que en las otras tres regiones disminuye. Pero las regiones Basaseachi, Creel y El Vergel muestran que a mayor edad disminuye la proporción de madera tardía. Sin embargo, al final (80 años) las diferencias no son muy significativas entre las diferentes regiones.

f) El incremento corriente anual en diámetro en las cinco regiones disminuye del centro hacia la corteza. En los periodos de 20 y 60 años las diferencias entre regiones son altamente significativas ( $P=0.003$  y  $P=0.009$ , respectivamente). Se encontró una alta correlación negativa entre la edad y el incremento corriente anual en diámetro normal en las cinco regiones ( $-0.101 \geq r \leq -0.506$ ;  $P=0.0001$ ). Mientras que durante los períodos de 40 y 80 años no muestran diferencias estadísticas entre las regiones

## VI RECOMENDACIONES

- a) En estudios de investigación posteriores en la Sierra Tarahumara, Chih. realizar un muestreo y calcular el tamaño de muestra, para obtener una mayor confiabilidad de los datos.
- b) Obtener dos muestras de viruta por árbol y realizar las mediciones de laboratorio en tiempos no muy prolongados a su extracción, para evitar pérdidas de muestras por pudrición de hongos o mal manejo de las mismas. Aplicar fungicidas a las virutas durante la colecta.
- c) Mantener una sola clasificación de las muestras desde la extracción en campo y en un formato, en forma clara y específica, para evitar confusiones posteriores.
- d) Eliminar virutas con resinas para no alterar la verdadera densidad de las muestras y evitar mayor variación.
- e) En estudios posteriores sobre densidad de la madera, también complementarlo con el de otras características de la madera como longitud de traqueidas o espesor de la pared celular y características climáticas, de suelos o vegetación de la región, para obtener una mejor comprensión de los factores que influyen en la formación de la madera.
- f) Darle seguimiento a este tipo de estudios hacia el mejoramiento genético de *Pinus arizonica* u otras especies importantes en la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

## LITERATURA CITADA

- Abad, A. y A. Luis Servin. 1993. Introducción al muestreo. Segunda Edición. Editorial LIMUSA. México. 216 p.
- Aguirre B., C. 1982. Labores silvícolas complementarias al suelo. INIF-SARH. Boletín Técnico No. 93. México. 44 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. 121-123.
- Borja de la R., A. y J.C. Tamarit U. 1997. Propiedades tecnológicas de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. del estado de Durango, México. Revista Chapingo. 3 (1): 103-107.
- Brown, H. P. y A.J. Panshin. 1949. Textbook of wood Technology Vol. 1. McGraw-Hill. Book Company. New York, USA. 652 p.
- Callaham R., Z. 1964. Investigación de procedencias: estudio de la diversidad genética asociada a al geografía. Unasylva. 8 (73-74): 40-50.
- Cevallos F., S. y V. T. Carmona. 1981. Banco de información de estudios tecnológicos de maderas que vegetan en México. Centro Nacional de Productos Forestales INIF-SARH. Catalogo No. 2. Tomo I. México. 201 p.
- Clay, K. R. 1967. A geographic variation study of yellow-Poplar (*Liriodendron 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 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.
- Craig, W. D., J. B. Zobel y R. James. 1966. Specific gravity and tracheid length of loblolly Pine in Maryland and Delaware. Technical Report No. 29. School of Forestry, North Carolina State University. Raleigh, N.C. USA. 11 p.
- Creber, T.G. y G. Chaloner W. 1984. Influence of environment factors on the wood structure of living and fossil trees. The Botanical Review. 50 (4): 357-448.



- Cregg, B. M., P.M. Dougherty y T.C. Hennessey. 1988. Growth and wood quality of young loblolly pine trees in relation to stand density and climatic factors. *Can. J. For. Res.* 18(7): 851–858.
- Daniel, W. T., J. A. Helms y F.S. Baker. 1982. *Principios de Silvicultura*. McGraw - Hill. México. 492 p.
- Díaz G., V. 1993. Propiedades tecnológicas de la madera y sus aplicaciones. Memoria del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera. Publicación especial No. 63. Edición preliminar 1988. INIF – SARH. México. 99–116.
- Echenique M., R. y V. Díaz G. 1969. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. *Bol. Tec.* Número 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 Pines. *Forest Science.* 17 (3): 388–394.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 623 p.
- Eguiluz P., T. y J. B. Zobel. 1986. 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 edad de los árboles tropicales. Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bioticos. Editores F. H. Bormann y G. Berlyn. CECSA. Veracruz, México. 31-55.
- Furnier, R. G. 1997. Métodos para medir variación genética en las plantas. En: manejo de recursos genéticos forestales. Editores Ledig, T., J. J. Vargas H y B. Bermejo V. Colegio de Postgraduados Montecillo, México. pp. 23 – 36.
- García, E. 1987. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Cuarta edición. UNAM. México. 217p.
- González Z., M. 2000. Crecimiento e incremento en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz) Perry y su relación con características ambientales al Sur de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coah. México. 98 p.
- Goggans, J. F. 1961. The interplay of environment and heredity as factors controlling wood properties in conifers with special emphasis on their effects on specific gravity. Technical Report. No. 11. School of Forestry, North Carolina State University. Raleigh, N.C. USA. 45 p.
- Graudal, L. 1993. Introducción a los principios sobre diseño y evaluación de experimentos de mejoramiento genético forestal. *Mejoramiento Forestal y*

Conservación del Recurso Genético Forestal. Manual técnico No. 14. Turrialba, Costa Rica. 117-139 p.

Harris, J. M. 1963. The influence of environment on the wood density of radiata pine grown in New Zeland. FAO. No.63. 1-7 p.

Hernandez V., J. y W. T. Adams. 1992. Age – age correlation and early selection for wood density in young coastal Douglas – fir. Forest Science. 38 (2): 467 – 478.

Hocker, Jr. H.W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G. T. Editor, S.A. México. 446 p

Huerta C., J. 1993. Relación estructura – propiedades – uso de la madera. Memoria del IV Seminario Nacional de la Industria Maderera. Publicación especial No. 63. Edición preliminar 1988. INIF – SARH. 117-119.

INEGI. 1981. Cartas topográficas. Claves: H12 - 9, H12 - 12, H13 - 7, H13 - 10, G12 - 3, G12 - 6, G13 - 1, G13 - 4, G13 - 7. Escala 1:250,000.

INEGI. 1985. Cartas de vegetación y uso de suelo escala. Claves: H12 - 9, H12 - 12, H13 - 7, H13 - 10, G12 - 3, G12 - 6, G13 - 1, G13 - 4, G13 - 7. Escala 1:250,000.

INEGI. 2000. Anuario de Estadística por Entidad Federativa. México. 548 p

Jeet, J. B. y J. T. Talbert. 1982. The place of wood specific gravity in the development of advanced generation seed orchards. South. Jour. Appl. For. 6:177–180.

Jeet, J. B., S. E. Mckeand y R. J. Weir. 1991. Stability of juvenile wood specific gravity of loblolly Pine in diverse geographic áreas. Can. J. For. Res. 21:1080–1085.

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

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

Larsen, J.B. y F. Mekic. 1990. The geographic variation in European Silver Fir (*Abies alba* Mill.). Silvae genetica 40 (516): 188-197.

López L., M. 1997. Variación de la densidad de madera de *Pinus greggii* Engelm. En el Norte de México. Tesis Profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo. Coah., Méx. 68 p

López V., E. 2001. Factores ambientales asociados a la distribución de *Pinus arizonica* Engelm. en la región Tarahumara, Chihuahua, utilizando sistemas de información geográfica. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coah. México. 76 p.

- Martínez, M. 1948. Los Pinos Mexicanos. Segunda Edición. Ediciones Botas. México. 431p.
- Panshin, A.J. y Carl De Zeew. 1964. Textbook of Wood Technology, Vol 2. McGraw - Hill. Book Company. New York. 772 p.
- Pérez de la P., O., C. Olvera. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas. INIF-SARH. Boletín técnico No 69. México, D.F.111 p.
- Perry, J. P. 1991. The pines of México and Central America. Timber Press. Portland, Oregon. 231 p.
- Ritchie B., C. 1968. Variación y Clasificación de las plantas. Herrero Hermanos, S.A. México. 142 P.
- Robles S., R. 1982. Terminología genética y fitogenética. Ed.Trillas, S.A. México. 163 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial LIMUSA. México. 432 p.
- SEMARNAP. 1999. Anuario estadístico de la Producción Forestal 1997. México. 144 p.
- Smith, D. M. 1954. Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood sample. Forest Service. Rept. N0. 2014.USDA, Madison. USA. 8 p.
- SPP. 1981 a. Cartas edafológicas: Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981 b. Cartas geológicas: Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1981 c. Cartas hidrológicas de Aguas Superficiales: Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.
- SPP. 1982. Cartas fisiográficas: Chihuahua, La Paz, Tijuana. Escala 1:1,000,000. Dirección general de Geografía del Territorio Nacional.
- Sprague, S. Ch. 1922. Manual of the trees of North. America. Vol.1 Publication Dover. New York. 433 p.
- Spurr, S. H. Y B. V. Barnes. 1982. Ecología forestal. A. G. T. Editor. México. 690 p.
- Swain, T., W. E. Hillis y P. R. Larson. 1983 Química de la madera. Instituto Nacional de Investigación sobre Recursos Bioticos. Editores F. H. Bormann y G. Berlyn. CECSA. Veracruz, México. 56-76

- Szymanski, B. Marcella y G. Tauer C. 1991. Loblolly pine provenance variation in age of transition from juvenile to mature wood specific gravity. *Forest Science*. 37(1): 160-174.
- Trujillo G., M. C. 1999. Variación de la densidad de la madera de *Pinus teocote* Sch. et Cham. En el Ejido La Trinidad, Montemorelos, N. L. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo. Coah. México. 50 p.
- UAAAN. 1999. Estudio de Impacto ambiental de la región Tarahumara, Chihuahua. Dirección de Desarrollo Regional de SAGAR. Banco Mundial, México. 231 p.
- UNAM. 1970. Cartas de climas. Clave: 12R - II, 12R - IV, 12R - VII, 13R - III, 13R - V. Escala 1:500,000. Dirección de planeación – UNAM.
- 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. Coah. Forest-AN. Nota Técnica No.1 UAAAN. Saltillo, Coah., México. 17 p.
- Valencia M., S. y J. J. Vargas H. 2001. Correlaciones genéticas y selección simultánea del crecimiento y densidad de la madera en *Pinus patula*. *Agrociencia*. 35(1): 109-120.
- Van Buijtenen, J. P. 1964. Anatomical factors influencing wood specific gravity of slash Pines and the implications for the development of a high —quality pulpwood. *Tappi*. 47(7): 401 – 404.
- Wiemann ,C. Michael y Bruce Williamson 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. 1-17 p.
- Wright, J.A. 1991. Impact of wood quality assessments on future fiber resources in the pulp and paper- making industry. *Sappi Forest*. No. 157. 96-99 p.
- Yáñez M., O. y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz., de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueidas de madera. *Revista Chapingo*. 15(75): 18-24.
- Young, A. R. 1991. Introducción a las ciencias forestales. Editorial LIMUSA. México. 636p.
- Zobel, J. B. 1964. Mejora genética de las propiedades de la madera de especies forestales. *Unasylva*. 8 (73-74): 89-103.
- Zobel, J. B. y J. P. van Buijtenen. 1989. Wood variation its causes and control. Ed. Springer–Verlang. N. Y. USA. 363 p.

Zobel, J. B. y J. B. Jeet. 1995. Genetics of wood production. Ed. Springer-Verlang. N. Y. USA. 337.

Zobel, J. B. y T.J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. Cuarta Edición. Editorial LIMUSA. México. 545 p.

## ANEXO

Anexo 1. Analisis estadístico de densidad de la madera, proporción de madera tardía e incremento corriente anual en diámetro normal en el Programa SAS (Statistical Analysis System versión 6.08).

```
options ps=59;

data l;
infile 'c:\arroyom\pal1.dat';
input rut sit arb edadl sec $ to1 te1 to2 te2 to3 te3 to4 te4 to5 te5 to6 te6 ps pa;

ta1=to1-te1;
ta2=to2-te2;
ta3=to3-te3;
ta4=to4-te4;
ta5=to5-te5;
ta6=to6-te6;

tomm = (to1+to2+to3+to4+to5+to6)*0.09;
if to6=. then tomm = (to1+to2+to3+to4+to5)*0.09;
if to5=. then tomm = (to1+to2+to3+to4)*0.09;
if to4=. then tomm = (to1+to2+to3)*0.09;
if to3=. then tomm = (to1+to2)*0.09;

ica=(tomm*2)/6;
if to6=. then ica=(tomm*2)/5;
if to5=. then ica=(tomm*2)/4;
if to4=. then ica=(tomm*2)/3;
if to3=. then ica=(tomm*2)/2;

pmt1=ta1/to1;
pmt2=ta2/to2;
pmt3=ta3/to3;
pmt4=ta4/to4;
pmt5=ta5/to5;
pmt6=ta6/to6;

pmt = (pmt1+pmt2+pmt3+pmt4+pmt5+pmt6)/6;

dm=1/(((ps-pa)/pa)+(1/1.53));

if dm>0.64 then delete;
if dm<0.3 then delete;

if pmt>0.6 then delete;
if pmt<0.03 then delete;

if edadl<35 then delete;

if rut=1 and sit=5 then delete;
```

```
if rut=4 and sit=28 then delete;
if rut=6 and sit=7 then delete;
```

```
if rut=1 then reg=1;
if rut=2 then reg=1;
if rut=3 then reg=1;
if rut=4 then reg=2;
if rut=6 and sit=11 then reg=2;
if rut=6 and sit=15 then reg=2;
if rut=6 and sit=1 then reg=3;
if rut=6 and sit=2 then reg=3;
if rut=6 and sit=4 then reg=3;
if rut=6 and sit=5 then reg=3;
if rut=5 then reg=3;
if rut=7 then reg=3;
if rut=8 then reg=3;
if rut=15 then reg=4;
if rut=19 then reg=4;
if rut=13 then reg=5;
```

```
cod=rut*100+sit;
```

```
*proc sort data=l;
* by rut sit arb sec;
* by reg cod arb sec;
```

```
*proc print data=l;
* var rut sit arb sec ica dm pmt edadl;
* var reg cod arb sec ica dm pmt edadl;
```

```
proc sort data=l;
by reg cod arb sec;
```

```
proc means noprint data=l;
* by reg cod arb sec;
by reg cod arb;
var ica dm pmt edadl;
output out=ml mean=mica mdm mpmt medadl;
*proc print data=ml;
```

```
*proc sort data=l;
* by reg;
*proc anova data=ml;
* by reg;
* class reg cod arb;
* class reg cod;
* model mica mdm mpmt = reg cod(reg) arb(cod reg);
* model mica mdm mpmt = reg;
* model mica mdm mpmt = cod;
* means reg / tukey lines;
* means cod / tukey lines;
```

```

*proc varcomp data=ml method=type;
* class reg cod arb;
* model mica mdm mpmt = reg cod(reg) arb(cod reg);

*proc sort data=l;
* by reg;
*proc corr data=l nosimple;
* by reg;
* var ica dm pmt edadl;

*proc corr data=ml nosimple;
* var mica mdm mpmt medadl;

run;
—

```

Anexo 2. Análisis de varianza para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) en *Pinus arizonica*; entre regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

	DM(g cm <sup>-3</sup> )	PMT	ICA–DN (mm)
--	-------------------------	-----	-------------



FV	g.l.	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	
Reg	4	0.002	6.26**	0.005	0.003	4.84**	0.002	3.797	2.62**	0.005	
Error	40	0.0004			0.0006			1.446			
Total	44										
				<b>CV = 4.90%</b>					CV = 15.14%		
								CV = 23.06%			

F.V. = Fuente de variación, g.l. = Grados de libertad, C.M. = Cuadrados medios; Fc = Valor calculado de "F", Pr > F = Probabilidad de error tipo I ( $\infty$ ), Reg. = Regiones, C. V. = coeficiente de variación, \* = Significativo al 0.05, \*\* = Significativo al 0.01

Anexo 3. Análisis de varianza para las variables densidad de la madera (DM), proporción de madera tardía (PMT) e incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) en *Pinus arizonica*; a través del tiempo, durante 80 años (periodos de 20 años); en regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

DM(g cm <sup>-3</sup> )											
		20 años			40 años			60 años			
F.V.	g.l.	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	
Reg	4	0.008	1.98NS	0.099	0.013	7.46**	0.0001	0.019	10.39**	0.0001	
Error	180	0.004			0.002			0.002			
Total	184										
				<b>CV = 15.4%</b>					CV = 10 %		

PMT														
		20 años			40 años			60 años			80 años			
F.V.	g.l.	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	
Reg	4	0.012	3.65**	0.007	0.013	3.72**	0.0062	0.012	2.38*	0.053	0.036	9.15**	0.001	
Error	180	0.003			0.003			0.005			0.003			
Total	184													
				<b>CV = 44.7%</b>	<b>CV = 35.5%</b>				CV = 37.2%			CV = 34.7%		

ICA – DN (mm)														
		20 años			40 años			60 años			80 años			
F.V.	g.l.	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	Pr > F	
Reg	4	43.663	4.01**	0.003	7.161	2.05NS	0.088	9.353	3.47**	0.0094	3.840	1.99NS	0.10	
Error	180	10.90			3.487			2.694			1.932			
Total	184													
				<b>CV = 42.8%</b>	<b>CV = 38.7%</b>				<b>CV = 41%</b>			<b>CV = 43%</b>		

F.V. = Fuente de variación, g.l. = Grados de libertad, C.M. = Cuadrados medios; Fc = Valor calculado de "F", Pr > F = Probabilidad de error tipo I ( $\infty$ ), Reg. = Regiones, C. V. = coeficiente de variación, \* = Significativo al 0.05, \*\* = Significativo al 0.01, NS = no significativo.

Anexo 4. Diferencias mediante la agrupación de medias de Tukey, de la densidad de la madera (DM), la proporción de madera tardía (PMT) y el incremento corriente anual en diámetro normal (ICA–DN) en *Pinus arizonica*; a través del tiempo, en regiones de la Sierra Tarahumara, Chihuahua.

DM(g cm <sup>-3</sup> )											
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Región	$\bar{x}$ 20 años	$\bar{x}$ 40 años	$\bar{x}$ 60 años
Madera	0.47	0.44 a	0.46 a
Basaseachi	0.43	0.42 a b	0.44 a b
Creel	0.42	0.39 b	0.40 b
Guachochi	0.41	0.41 a b	0.45 a
El Vergel	0.40	0.42 a b	0.44 a

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

#### PMT

Región	$\bar{x}$ 20 años	$\bar{x}$ 40 años	$\bar{x}$ 60 años	$\bar{x}$ 80 años
Madera	0.18 a	0.23 a	0.23 a	0.28 a
Basaseachi	0.11 b	0.16 b	0.21 a	0.19 b c
Creel	0.12 b	0.16 b	0.18 a	0.16 c
Guachochi	0.15 a b	0.19 a b	0.22 a	0.26 a b
El Vergel	0.15 a b	0.18 a b	0.18 a	0.18 c

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

#### ICA - DN (mm)

Región	$\bar{x}$ 20 años	$\bar{x}$ 40 años	$\bar{x}$ 60 años	$\bar{x}$ 80 años
Madera	10.05 a	5.02 a	5.17 a	4.11 a
Basaseachi	8.58 a b	5.38 a	4.53 a b	3.60 a
Creel	7.64 a b	4.61 a	3.79 a b	3.12 a
Guachochi	3.12 a	4.86 a	3.58 b	2.56 a
El Vergel	5.63 b	4.19 a	3.43 b	2.71 a

Valores con letras iguales no son estadísticamente diferentes  $\alpha=0.05$ .

Anexo 5. Prueba de homogeneidad de varianzas para la densidad de la madera en el período de 80 años, a través del tiempo en regiones.

#### Homogeneidad de varianzas

Región	Madera	Basaseachi	Creel	Guachochi
El Vergel	0.01**	0.99NS	0.3NS	0.72NS
Guachochi	0.02*	0.61NS	0.24NS	

Creel	0.04*	0.003**
Basaseachi	0.006**	

---

\*= Significativo al  $\alpha=0.05$ ; \*\*=Significativo al  $\alpha=0.01$ ; NS= no significativo