



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

Efecto del clima en la longitud de traqueidas y densidad relativa de madera de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. de organismos silvestres y cultivados en un gradiente altitudinal del Cofre de Perote en el Estado de Veracruz.

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

BIÓLOGO

PRESENTA:

DANIEL ARTURO JUÁREZ ASCENCIO

Tutor:

Dr. Víctor Luís Barradas Miranda.

2006



FACULTAD DE CIENCIAS
UNAM



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

1.Datos del alumno

Juárez
Ascencio
Daniel Arturo
56 56 74 59
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Biología
096504114

2.Datos del tutor

Dr.
Víctor Luis
Barradas
Miranda

3.Datos del sinodal 1

Dra.
Alma Delfina Lucia
Orozco
Segovia

4.Datos del sinodal 2

M. en C.
María del Pilar
Huante Pérez

5.Datos del sinodal 3

M. en C.
María Guadalupe
Barajas
Guzmán

6.Datos del sinodal 4

M. en C.
Aurora
Zlotnik
Espinosa

7.Datos del trabajo escrito

Efecto del clima en la longitud de traqueidas y densidad relativa de madera de
Pinus patula Schltldl. & Cham. de organismos silvestres y cultivados en un
gradiente altitudinal del Cofre de Perote en el Estado de Veracruz.

78 p
2006

Agradezco a la UNAM todos los estudios que me brindó, la experiencia y la madurez, que siga siendo siempre la forjadora de los hombres de la patria.

Este trabajo fue realizado gracias a la beca otorgada por el CONACYT en el proyecto DG011-N de restauración de selvas tropicales.

El uso del **TKU**._{p450} En *Danielopolus juarensis*. Juárez & Ascencio.

Abstract:

se encuentra la compilación de muchos agradecimientos que el autor desea extender, ya que considera que han existido piezas claves a lo largo de este trabajo (y de su vida) que desea destacar.

Familias

A Dios, A mis papás **Joel** y **Graciela** por el tiempo que he estado con ustedes, por su educación y amor. A mis hermanos **Alejandro** y **Aurora**, los quiero mucho, a mis segundos padres **Félix Esparza** y **Lourdes Aguilar**, por su princesa, su bebé. A **Trini** y **Marce** por abrir sus brazos y recibirme en este tiempo que los he conocido.

Institutos y Universidad

A **Victor**, **Lupita**, La **Dra. Orozco**, **Pilar** y a la **Maestra Aurora**, por tenerme **mucha**, paciencia y lidiar con mi dislexia y redacción tipo Salman Rushdie.

A **Betza** y **Tegue (Tere)** Gracias por dejarme participar en tu proyecto con CEDO DOJO. Procura alejarte del ajo, las cruces y la luz solar... , a **Gustavo P—do**.(iiiiiii..... Tere, Tere,.....) que **SI** paga sus apuestas, a **Renato** y **Daniel** (sin cabeza por supuesto) A **Lupita (op. Cit)** por sus consejos, diplomacia y política, capacidad infinita para escuchar, capacidad técnica, filosófica y moral y **sobre todo** por ser amiga. A **Lore**: que tiene un corazón muy grande y que se puede contar con ella en cualquier situación a **Sofía** por su compañerismo y temas especiales (a new issue of course ¡) que nunca creí llegar a discutir con nadie y espero seguir discutiendo.

A **Porrochdrigo**, **Carlos ESE**, **Carlos EME**, A **Helen-M**, **Gibonita**, **Pato** y **Juan**. por ser mis amigos y acompañarme en una de las partes más importantes en mi vida, por ayudarme a madurar y ser mejor persona, su aportación resultó ser vital en mi futuro.

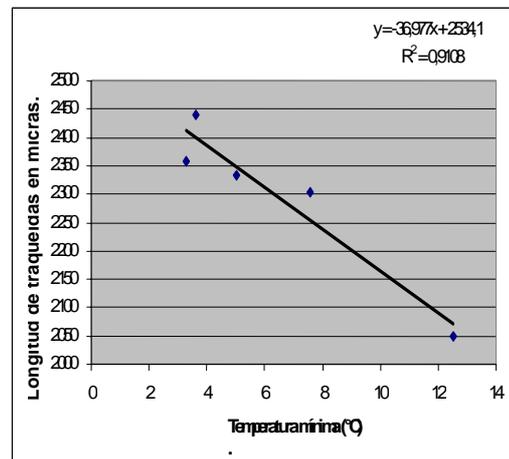
Escuelas

al **Dr. Alvaro Osornio**, por su ejemplo profesional, A **Clemen** por apostar a mi favor. (ya viste que valió la pena?) A **Ernesto** y **Paty** por verter sus conocimientos en mi persona, a **Mayco**, quien seguramente **ya lo sabía**. A todos mis compañeros del proyecto **INCAN**, donde estén les deseo lo mejor.

Conclusión

A **TODOS** por el tiempo que he compartido con ustedes, por todas las aportaciones que son, al final de cuenta, como las gotas de agua, que juntas pueden pulir hasta la más dura roca, por los caminos abiertos y caminados, por todos los ratos buenos y la experiencia, a toda la gente que estuvo y ya no está. . .

Y sobre todo por las **cosas imposibles**.



La siguiente ecuación hace válido este trabajo, el tiempo invertido, la dedicación, tanto mía como de todos los que hayan participado de alguna u otra forma en ella:

$$y = 0,0063x + 0,3869$$
$$R^2 = 0,6074$$

En pocas palabras, cuanto mas frío haga, es decir, cuanto mas baja temperatura, las traqueidas **serán mas largas**, (con ciertas restricciones por supuesto), y entonces se puede hacer mejor papel... fácil no?

Sin embargo no existe ecuación alguna que me ayude a decir en pocas palabras tantas cosas que he querido decir siempre:

[Lou, princesita, TE AMO eres mi felicidad y mi fuerza, mi fuego interno, quiero estar siempre (Ω) a tu lado.] ∞^n

GRACIAS.

Si un amor cayó del cielo... no pregunto más
En mis sueños nunca pierdo la oportunidad
Aunque a veces se equivoquen
No confundo más
Voy a hacer que mis cenizas vuelvan al papel
Siempre soy... ya es parte de mi ser
Siempre soy... lo claro entre los dos
Siempre soy... sos parte de mi ser
Quiero hacer cosas imposibles
Cosas imposibles
Mutación del porvenir
Es la eternidad
Donde hablen de esperanzas vagas
Persigo realidad
Siempre soy... ya es parte de mi ser
Siempre soy... lo claro entre los dos
Siempre soy... sos parte de mi ser
Quiero hacer cosas imposibles
Cosas imposibles...

INDICE

1. Introducción.....	1
2. Hipótesis.....	4
3. Objetivo General.....	4
3.1 Objetivos particulares.....	5
4. Antecedentes y Desarrollo.....	5
4.1 Anatomía de la madera de las gimnospermas.....	5
4.1.1 Formación de la madera.....	7
4.1.2 Crecimiento y fisiología.....	9
4.1.3 Fotosíntesis.....	10
4.1.4 Xilema.....	11
4.2 Variación en los organismos.....	13
4.3 Estudios de carácter forestal en México.....	14
4.4 <i>Pinus patula</i> Schltdl. & Cham.....	15
4.5 Distribución.....	18
4.6 Clima.....	18
4.7 Índices climáticos.....	20
4.8 Investigaciones sobre la longitud de traqueidas.....	21
4.9 Investigaciones sobre la densidad relativa y pesos específicos.....	27
5. Materiales y métodos.....	32
5.1 Obtención de muestras y posición geográfica en el campo.....	32
5.2 Densidad relativa de madera.....	34
5.3 Longitud de traqueidas.....	34
5.4 Obtención de las estaciones y datos diarios correspondientes a temperaturas máximas, mínimas, precipitación e índices climáticos.....	35
5.5 Análisis estadísticos y Regresiones lineales.....	35
6. Resultados.....	36
6.1 Longitud de traqueidas y densidad relativa de madera.....	36
6.2 Datos e índices climáticos.....	40
6.3 Regresiones simples de la longitud de traqueidas y densidad relativa de madera de los organismos silvestres.....	47
7. Discusión.....	50
7.1 Comparación de este trabajo con los de los antecedentes.....	57
8. Conclusiones.....	60
9. Referencias.....	61
10. Apéndice.....	70
I Análisis de los Índices.....	70
II Análisis de la longitud de traqueidas.....	73
III Análisis de la densidad relativa de madera.....	74
V Iluminación Köheler, calibración de microscopio y preparación de jalea glicerinada con pardo de Bismarck.....	78

Indice de tablas y figuras

Figura 1. Diagrama de un bloque de cambium vascular y madera de <i>Thuja occidentalis</i> (tuya) una conífera (según Esau, 1987).....	7
Tabla 1. Longitudes de traqueidas obtenidas de algunos pinos (cuadro extraído de Calixto, 1996) y modificado con datos obtenidos de los antecedentes.....	23
Tabla 2. Trabajos relacionados con la densidad de la madera.....	30
Tabla 3. Ubicación de los sitios y lugares de estudio donde se tomaron muestras de la madera de <i>Pinus patula</i> y las estaciones climatológicas asignadas.....	33
Tabla 4. Índices climáticos empleados en el análisis del clima en la región de Cofre de Perote (P es la precipitación pluvial y T es la temperatura media)(Lal 1992).....	35
Figura 2. Longitud de traqueidas de <i>Pinus patula</i> de organismos silvestres en un gradiente altitudinal de la región montañosa central del estado de Veracruz.....	37
Figura 3. Longitud de traqueidas de organismos silvestres (s) y cultivados (c) de <i>Pinus patula</i> en Naolinco (N) y Perote (P) en el estado de Veracruz.....	38
Figura 4. Densidad relativa de la madera de <i>Pinus patula</i> de organismos silvestres en un gradiente altitudinal de la región montañosa central del estado de Veracruz.	39
Figura 5. Densidad de la madera de organismos silvestres (s) y cultivados (c) de <i>Pinus patula</i> en Naolinco (N) y Perote (P) en el estado de Veracruz.....	39
Figura 6. Promedio de las temperaturas máxima, mínima y media de los sitios de estudio.....	40
Figura 7. Promedio de la precipitación diaria en cada uno de los sitios estudiados en un perfil altitudinal del área central montañosa del estado de Veracruz.....	41
Figura 8. Promedio del índice de Aridez de los sitios de estudio.....	42
Figura 9. Promedio del índice de sequedad de los sitios de estudio.....	42

Figura 10. Promedio del Factor de precipitación de los sitios de estudio.....	43
Figura 11. Promedio del Factor de sequedad de los sitios de estudio.....	43
Figura 12. Promedio del índice de Coeficiente de humedad de los sitios de estudio.....	44
Figura 13. Promedio de las horas frío diarias de los sitios estudiados en un perfil altitudinal del área central montañosa del estado de Veracruz.....	44
Tabla 5. Matriz de correlación de variables e índices climáticos en Naolinco, Veracruz.	45
Tabla 6. Matriz de correlación de variables atmosféricas e índices climáticos en Perote, Veracruz.....	45
Tabla 7. Matriz de correlación de variables atmosféricas e índices climáticos en Frijol Colorado, Veracruz.....	46
Tabla 8. Matriz de correlación de variables atmosféricas e índices climáticos en La Joya, Veracruz.....	46
Tabla 9. Matriz de correlación de las diversas variables atmosféricas e índices climáticos en Xico, Veracruz.....	46
Figura 14.El valor de la r^2 de las regresiones simples de longitud de traqueidas de la madera en función de las diferentes variables e índices climáticos a través del año y promedio anual.....	47
Figura 15. El valor de la r^2 de las regresiones simples de la densidad relativa de la madera en función de las diferentes variables e índices climáticos a través del año y promedio anual.....	48
Figura 16. Temperatura mínima anual vs. Longitud de traqueidas.....	49
Figura 17. Densidad relativa vs. Longitud de traqueidas.....	49
Figura 18. Temperatura mínima anual vs. Densidad relativa.....	50
Figura 19. r cuadrada de las regresiones simples de la longitud de traqueidas de los organismos silvestres y valores de p obtenidos.....	76
Figura 20.r cuadrada de las regresiones simples de la densidad relativa de madera de los organismos silvestres y valores de p obtenidos.	77

Resumen:

Debido al grave problema de deforestación de nuestro país es necesario encontrar respuestas adecuadas para esta situación, una de ellas es proponer la reforestación con especies que tengan velocidades altas de crecimiento y características que les permitan ponerle valor agregado en sus usos finales.

Dos características importantes de la madera son la densidad relativa y la longitud de traqueidas, esta última es relevante por su influencia en la calidad de papel.

El objetivo del presente estudio fue el relacionar al clima con estas dos características en Pinus patula Schltdl. & Cham. Esta especie de pino es nativa de México y es considerada como una de las de mayor velocidad de crecimiento y debido a sus características es adecuada para la fabricación de papel.

Se analizaron estas características en muestras de este pino de organismos silvestres y cultivados obtenidas en un gradiente altitudinal en la región del Cofre de Perote en el Estado de Veracruz, siendo un total de 5200 mediciones para la longitud de traqueidas de organismos silvestres y 2000 para organismos cultivados y 26 mediciones para la densidad relativa de organismos silvestres y 10 para organismos cultivados, a los resultados obtenidos se les hizo un análisis de varianza, obteniendo diferencias entre sitios de la longitud de traqueidas siendo en los organismos silvestres los de mayor longitud y menor densidad los obtenidos en Perote y los menores en longitud pero mayor densidad en Naolinco, el análisis de los organismos cultivados y silvestres mostró que los organismos silvestres tanto de Naolinco como de Perote fueron mayores tanto en su longitud de traqueidas, como en su densidad relativa, siendo mayores las obtenidas de Perote, no obstante que se comportamiento inverso para los organismos cultivados que indicando una mayor longitud y densidad de los organismos de Naolinco.

Los sitios de donde se obtuvieron las muestras fueron relacionados con las estaciones meteorológicas mas cercanas y siguiendo el gradiente altitudinal, obteniendo datos correspondientes a tres años de la temperatura máxima, la temperatura mínima y la precipitación, con ellos se calculó la temperatura promedio y otros índices que fueron: El índice de aridez De Martonne, El índice de sequedad de Gaussen, el Factor de precipitación de Lang, el Factor de sequedad de Koppen, el Coeficiente de humedad de Angstrom y Las Horas Frío; a estos resultados se les realizó análisis de varianza obteniendo diferencias entre sitios y posteriormente se llevo a cabo un análisis de regresión simple con la longitud de traqueidas y la densidad relativa de los organismos silvestres.

Los resultados obtenidos indican la influencia de la temperatura mínima en estas dos características siendo positiva y representativa en todos los meses para la longitud de traqueidas y negativa para la densidad relativa siendo representativa para el mes de Enero.

1. Introducción

Los recursos forestales poseen un valor muy antiguo ya que éstos se cuentan como uno de los primeros utilizados en todas las épocas del desarrollo cultural de diferentes grupos humanos y cuya utilidad cambió con relación al lugar donde se situaron esas civilizaciones; desde su uso como combustible, armas simples para su defensa o herramientas, hasta la construcción de estructuras más fuertes y complicadas (Donald, 1951), sin embargo, la población humana ha crecido a un ritmo muy elevado que se traduce en una presión alta para el ambiente, incluyendo los bienes forestales (Valencia 1994; Berlik, 2002), en los que se observa gran devastación y deterioro. Un precio probablemente alto que ha tenido que pagar la naturaleza por el desarrollo humano es la reducción en la cantidad de los bosques disponibles para el aprovechamiento por el hombre (Donald, 1951; Nordlind & Östund, 2003).

Actualmente, en un mundo que tiende cada vez más hacia la globalización, los recursos naturales de cada país se encuentran bajo una gran presión, por lo que deben ser producidos y administrados correctamente de acuerdo a sus posibilidades, ya sean geográficas, climáticas o culturales (Valencia, 1994; Ortega, 1999). Por otro lado, el crecimiento demográfico continuo de nuestro país que demanda mayor cantidad de productos y servicios del bosque (Aguilar & Villasalas, 1995), junto con transformaciones primarias en la política económica de México originadas desde el Tratado de Libre Comercio contribuyen a la preocupación sobre este tema. (Castañeda, 1990) ya que la demanda de productos forestales en países avanzados es mucho mayor que la de los países subdesarrollados, dando como resultado que los materiales sean extraídos de estos últimos, en los cuales las políticas de conservación no son tan estrictas (Berlik, 2002) y tanto la desaparición de los bosques naturales como el alto costo que adquieren por su valor en el mercado, han obligado a planear el progreso económico basado en un desarrollo sustentable al reforestar las comunidades deterioradas (Ortega, *op cit*).

La creciente importación de alimentos obliga al agricultor a desmontar grandes áreas con el fin de obtener áreas disponibles para cultivos. No obstante, debido a la baja vocación de la tierra para producir alimentos, las capas de suelo utilizable se erosionan, provocando una baja productividad agrícola que se refleja en nuevos desmontes y como

consecuencia se presenta un círculo vicioso que culmina en la creciente pérdida de masas forestales. Esta pérdida tiene una relación directa con la finalidad de dichos árboles en sus usos primarios (Berlik, *op cit*), tal como la obtención de papel y celulosa, que es uno de los sectores productivos de México (Castañeda, 1990). Las variables económicas de este rubro se relacionan con la producción, importación y consumo de celulosa en México, señalándose que es necesario llevar a cabo actividades de producción para el respaldo de la industria obteniéndose de las plantas celulósicas nacionales, importaciones, procesos productivos de fibras “vírgenes” (obtenidas de madera, plantas anuales como el bagazo de caña y trigo, etc.) y por medio de fibras secundarias regeneradas (recicladas) (Castañeda, *op.cit.*),

La producción de madera y el consecuente aumento de la biomasa de los árboles es un factor importante en la industria forestal (Ceulemans, 2002) y en México, debido a su geografía accidentada, y atravesada por sistemas montañosos que cruzan el territorio casi en su totalidad, se ofrecen nichos para el desarrollo y diversificación de organismos híbridos naturales (Eguiluz, 1982). Esta variación natural de los organismos es lo que brinda las posibilidades de que se adapten a diferentes condiciones ambientales, ya sea desarrollando mayores velocidades de crecimiento, modificando las características de la madera, o su resistencia a enfermedades (Nienstaedt, 1989). Esto brinda también la posibilidad de generar organismos mejorados genéticamente, lo que es importante en selecciones previas para la producción forestal que ha adquirido una gran importancia debido a la demanda constante de productos forestales (Shaw, 1909; Martínez, 1948; Eguiluz, 1978; Vaca, 1992; Hannrup & Ekberg, 1998).

El bosque es un recurso natural renovable; sin embargo, esto depende del buen manejo y su explotación ya que puede ocasionar impactos ambientales y cambio de uso de los suelos a otros usos, además de que siendo un recurso renovable, ayuda en la mitigación de carbono presente en la atmósfera (Berlik, 2002). Es por ello que la recuperación de ambientes deteriorados, se debe realizar con reforestaciones enfocadas a la plantación de especies que tengan velocidades altas de crecimiento (Aguilar, 1995) y que posean posibilidades prácticas de uso de acuerdo a las características microambientales de los sitios a recuperar (Lal, 1992), siendo el clima (precipitación y temperatura) uno de los factores más trascendentes (Brinkley, 1990) pues presentan una importancia particular para las plantaciones forestales (Caballero & Prado, 1969). El clima influye en la

distribución y abundancia de los organismos (Brinkley, 1990; Francis & Curie, 2003) y participa al nivel de los bosques en tres formas diferentes, el árbol de manera individual, en el nivel de comunidad y en la región forestal o sector (Brinkley 1990).

Los cambios en la temperatura, precipitación y concentraciones de gases como el oxígeno, el nitrógeno, el ozono y el dióxido de carbono pueden tener efectos fisiológicos en el crecimiento de los bosques (Brinkley, 1990; Hymus *et al.* 1999; Masle, 2000; Raz & Koornneef, 2001; Taylor *et al.* 2003; Van Dongen *et al.*, 2003; Wager & Baker, 2003). La fotosíntesis se incrementa con la temperatura, aumentando hasta un nivel en el que decae por la alta respiración (Brinkley, 1990; Rundel & Yoder, 1998). En contraste, las temperaturas bajas en la noche pueden afectar la fotosíntesis y sus efectos se acentúan después de un gran periodo de iluminación. Este resultado es similar al producido por el estrés hídrico (Flexas *et al.*, 1999; Atkin *et al.*, 2000). En algunos casos, el efecto de la estación de crecimiento se ve incrementado con el aumento de temperatura (Brinkley, 1990; Rundel & Yoder, 1998) por lo que la productividad también se incrementa (Brinkley, *op cit*). Es por ello que las características ambientales de los sitios influyen de manera importante en el crecimiento de los árboles reflejándose en las velocidades de crecimiento, lo que repercute en la cantidad de los productos obtenidos como en el caso de la madera (Manzanilla, 1971; Aguilar & Aguilar, 1991; Benavides, 1991)

La madera es el producto del crecimiento del xilema secundario de las plantas maderables y para el sector económico maderero las características de las maderas y traqueidas son de vital importancia en los programas de mejoramiento, dado su papel en la competitividad comercial (Ivkovich *et al.*, 2002; Shepherd *et al.*, 2003). Un ejemplo de las características mensurables de la calidad de la madera son: la densidad relativa (o peso específico) y la longitud de traqueidas (Ifju y Kennedy, 1962; Harris, 1983; Zhang, 1994; Niklas, 1997; Ortega, 1999). La densidad relativa posee importancia ya que es un indicador de la resistencia de la madera y de la cantidad de materia presente. La longitud de traqueidas es relevante para la fabricación de papel porque influye en la resistencia al rasgado resultado del entrelazado entre ellas. (Kollman, 1959; Nicholls, 1967; Larios, 1979; Hernández Hernández, 1985; Fuentes, 1987)

Es por ello que este trabajo tiene como principal objetivo determinar la longitud de las traqueidas y la densidad relativa de la madera de individuos silvestres y cultivados (mejorados genéticamente) de *Pinus patula* Schltdl. et Cham., y establecer como son afectados ambos por el clima a lo largo de un gradiente altitudinal del Cofre de Perote, en el estado Veracruz. Este pino es una especie nativa de México, y se considera que es una de las que posee mayores velocidades de crecimiento, así como un alto grado de adaptación ecológica y buena calidad, tanto para aserrío, como para pulpa de papel (Vela, 1976; Ortega, 1999) Además plantada como una especie exótica es productiva en otros países y con programas de mejoramiento genético ha mostrado tener un gran potencial para la producción de celulosa y madera (Vela, 1976; Ortega, 1999). Un ejemplo de ello, fue su introducción en Sudáfrica en 1906 y 1907 donde ha ido ganando terreno a los bosques naturales de ese país (Zobel y Talbert, 1988; Ortega, 1999). Con este trabajo se espera contribuir al conocimiento del desempeño de esta especie y por lo tanto a su manejo y restauración, teniendo como hipótesis que el clima de cada localidad permite que exista una diferencia en la longitud de las traqueidas y en la densidad relativa de la madera y por ello en la calidad de la madera y celulosa, lo que permitiría aprovechar el factor climático de cada lugar para obtener el mayor beneficio económico y ecológico al reforestar con esta especie.

2. Hipótesis

Existen diferencias en la longitud de traqueidas y densidad de la madera de *Pinus patula* Schltdl. & Cham., de distintas poblaciones debido a los diferentes climas que se presentan en un gradiente altitudinal.

3. Objetivo General

Determinar el efecto del clima en la longitud de las traqueidas y la densidad relativa de la madera en poblaciones domesticadas y silvestres de *Pinus patula* en un gradiente altitudinal en la región del Cofre de Perote, Veracruz.

3.1 Objetivos particulares

- Determinar la longitud de las traqueidas y la densidad relativa de la madera en poblaciones domesticas y silvestres de *Pinus patula* en un gradiente altitudinal en la región del Cofre de Perote, Veracruz.
- Comparar la longitud de las traqueidas y la densidad relativa de la madera de las poblaciones domésticas y silvestres de *Pinus patula* en un gradiente altitudinal.
- Determinar el clima mediante índices climáticos en un gradiente altitudinal en la región del Cofre de Perote, Veracruz.
- Relacionar la longitud de las traqueidas y la densidad de la madera de *Pinus patula* con los índices climáticos.

4. Antecedentes y Desarrollo

4.1 Anatomía de la madera de las gimnospermas

Las maderas se clasifican en maderas blandas (gimnospermas) y duras (dicotiledóneas). La madera de las gimnospermas es homogénea con elementos largos y fácilmente trabajable y de ellas las coníferas son la fuente comercial de madera, ya que son muy adecuadas para la fabricación de papel. En comparación, la madera de las dicotiledóneas es fuerte y pesada presentando gran cantidad de fibrotraqueidas y de fibras libriformes (Esau, 1987)

La madera de las coníferas esta constituida principalmente de traqueidas (Donald, 1951; Esau, 1987). Estas células son angostas con una longitud de 2 a 5 milímetros, con extremos en forma de cuña que pueden ser curvos o ramificados debido al crecimiento intrusivo (Esau, *op. cit.*).

Las traqueidas son diferentes morfológicamente aún dentro de una misma pieza de madera (Donald, 1951); sus ornamentaciones pueden ser desde engrosamientos en forma helicoidal ó modificaciones que se relacionan con el tipo de traqueidas que se producen en las distintas estaciones del año: traqueidas de leño temprano y traqueidas de leño tardío. En las traqueidas de leño temprano se observan puntuaciones “circulares areoladas con aperturas internas circulares” y “en las de leño tardío (fibrotraqueidas) se presentan areolas reducidas con aperturas internas ovales” (Esau, 1987). En el caso de las traqueidas de leño tardío hay un incremento de grosor de la pared y presencia de un torus entre los pares de puntuaciones.

La madera de gimnospermas puede o no, presentar parénquima axial y se restringe al asociado con canales resiníferos en el género *Pinus*, los canales resiníferos a su vez pueden aparecer como constantes en algunas maderas (Pinaceae), pero también como el resultado de traumatismos en el sistema axial y radial (Esau, 1987).

Los radios en coníferas consisten en su mayoría de células parenquimáticas (Esau, 1987) y pueden contener también traqueidas (Fig. 1), son de una o dos células de ancho (biseriadas) con una altura de 20 a 50 células. Las traqueidas de radio se asemejan

morfológicamente a las células parenquimáticas, pero carecen de protoplastos en la madurez contando además con paredes secundarias con puntuaciones areoladas.

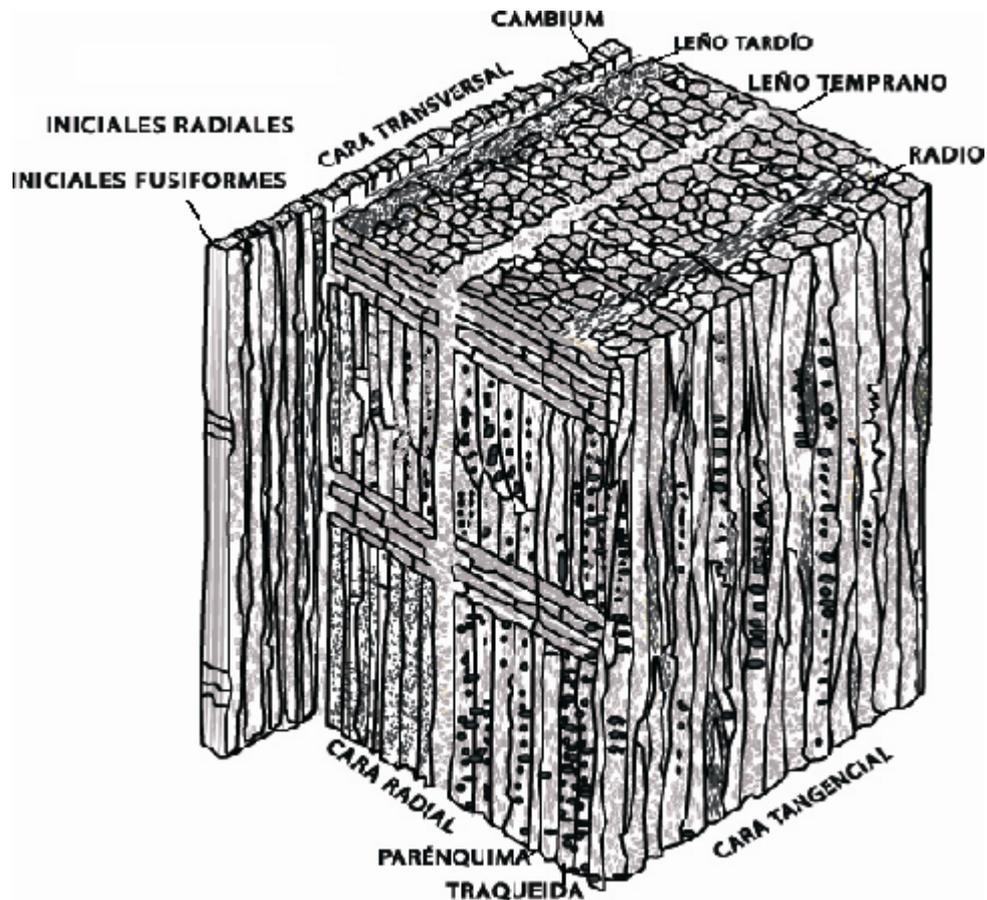


Figura 1. Diagrama de un bloque de cambium vascular y madera de *Thuja occidentalis* (tuya) una conífera (según Esau, 1987).

4.1.1 Formación de la madera

Las tres funciones del tronco de los árboles son: soporte, conducción y producción de tejidos con dos tipos de crecimiento: el crecimiento de longitud o primario y el de espesor o secundario a partir del cambium vascular (Weier *et al*, 1980; Bidwell, 1983)

Al inicio de la fase de crecimiento en la primavera las condiciones dejan de ser limítrofes y son interpretadas como señales por medio de Fitohormonas (Little & Pharis, 1995), las cuales transducen los factores ambientales que se sabe influyen en el crecimiento de las plantas activando los meristemos apicales seguidos de los meristemos cambiales (Hocker, 1984). Las hormonas más conocidas son: las auxinas, las giberelinas, las citocininas, el ácido abscísico y el etileno. Sin embargo, aunque es conocido su efecto en la diferenciación del cambium vascular y la transición de madera temprana a tardía, muchos de sus efectos todavía no son conocidos, posiblemente por la presencia de otras sustancias (Little & Pharis, 1995).

En un inicio las citocininas se encuentran en una alta concentración al momento del rompimiento de las yemas (Little & Pharis, 1995), el cual se activa en la primavera promoviendo el inicio de la actividad del cambium; motivo por el cual las auxinas de concentración mayor en la copa son transportadas desde arriba hacia la base del árbol, lo que disminuye la concentración del ácido abscísico el cual actúa como un inhibidor y que es un importante regulador de las diferentes etapas de la planta. (Larson, 1963; Finkelstein et al., 2002). La diferenciación del tejido vascular está asociada con las auxinas y especialmente con la formación del xilema en el crecimiento de las plantas, con la germinación, el alargamiento del tallo (crecimiento longitudinal) y el desarrollo de flores (Little & Pharis, 1995; Yamaguchi & Kamiya, 2000). Algunos experimentos indican que una baja concentración de auxinas puede promover el crecimiento (Bhatnagar & Talwar, 1978), y en contraposición los niveles supraóptimos de esta hormona pueden llevar a cambios en el diámetro de los elementos del vaso de algunas plantas, disminuyéndolos en dirección basipétala (Warren Wilson & Warren Wilson, 1991). Esta idea es apoyada por observaciones en organismos de crecimiento lento, cuya concentración de auxinas se ubica en niveles supraóptimos (Zhang, 1990).

Las hormonas juegan un papel importante en la formación de la madera, ya que se ha encontrado en cultivos que las citocininas poseen un papel esencial en la diferenciación de los elementos traqueales (Ramsden & Northte, 1987; Fukuda, 1994). Además del incremento producido en células del cambium, las auxinas junto con las giberelinas tienen un efecto en la división y diferenciación de los elementos traqueales en muchas coníferas y en la producción de traqueidas (Little & Savidge, 1987; Wang et al 1992; Sundberg & Little, 1990 citado en Little & Pharis, 1995; Sachs, 2000).

En el caso del etileno se encuentran datos que apoyan y contradicen su efecto en el crecimiento del cambium (Little & Pharis, 1995) además de que tiene influencia en el curvatura del gancho apical (Raz & Koornneef, 2001).

Al final del periodo de crecimiento la relación de concentración de hormonas cambia, por lo que el ácido abscísico comienza a influir en el cambio de la conformación de las traqueidas. El ácido abscísico está presente en muchas partes de la planta y se considera como un factor inhibidor del crecimiento; juega un papel muy importante en el cambio de madera temprana a tardía. Existen evidencias que demuestran que disminuyen el radio de las traqueidas lo que da lugar a la madera tardía o de reposo (Little & Pharis, 1995). El engrosamiento de las células está asociado a la cantidad de productos de la fotosíntesis durante el año, ya que a la llegada de la primavera éstos aumentan conforme madura el follaje, y los productos de las acículas anteriores se translocan al tejido del tallo, de manera que la madera tardía se ve influenciada por la disponibilidad de productos de la fotosíntesis y la disminución de las auxinas presentes (Ortega, 1999).

4.1.2 Crecimiento y fisiología

El crecimiento de las plantas está relacionado con factores como lo son el agua, la luz, los gases y las temperaturas adecuadas. El estudio de los factores que afectan a las plantas en su crecimiento se ha relacionado con diferentes enfoques, de esta manera encontramos que se han elaborado los lineamientos que tratan de explicarlo, y se han establecido desde las condiciones mínimas necesarias para el crecimiento, hasta el conjunto de factores que interactúan entre sí y la forma en que limitan el crecimiento los que se encuentran en menor disponibilidad (Liebig, 1843). Así, los procesos fisiológicos se ven condicionados de diferentes maneras y su tolerancia es distinta de acuerdo con la etapa de desarrollo de la planta al momento del crecimiento del organismo estudiado. La evolución de los límites de tolerancia, está modificada por la selección natural por lo que las especies se adaptan fisiológicamente a algunos factores ambientales (Cañ, 1944; Mason & Stout, 1954; Meyer, 1952; Krebs 1985). Un ejemplo de la influencia ambiental en el crecimiento son los experimentos desarrollados por Fritts (1958) quien al estudiar el crecimiento en diámetro de los árboles de maple (*Acer spp.*) indicó que tenía relación con factores tales como la variación de las temperaturas máximas y la

humedad del suelo, siendo estos factores a su vez regulados por las condiciones ambientales en las distintas estaciones del año. Esto se vincula con la tasa de crecimiento de un órgano o tejido en la planta que puede cambiar durante su desarrollo en respuesta a estímulos externos; por ejemplo, estudios realizados en plantas de trigo (*Triticum aestivum* L.) muestran la influencia del CO₂ y la temperatura en su desarrollo y morfología, sugiriendo que las temperaturas iniciales disparan o inhiben los genes que alteran el desarrollo total de la planta (Masle, 2000; Raz & Koornneef, 2001).

Distintos estudios ofrecen resultados diferentes en cuanto a la influencia de los gases en las plantas, en algunos se ha encontrado que altas concentraciones de CO₂ y el estrés invernal incrementan el tamaño de las hojas (*Populus* sp.) (Taylor *et al.*, 2003) en árboles perennifolios (*Pinus tadea* L.) (Hymus *et al.*, 1999). Sin embargo, en estudios realizados con *Pseudotsuga menziesii* se encontró que concentraciones altas y normales de CO₂ no tuvieron efecto en esta planta (Olsyk *et al.*, 1998). En otros trabajos se sugiere que la contaminación por ozono daña a la vegetación pues la concentración de gases afecta el crecimiento de las plantas y en específico de los árboles, junto con otras variables como las plagas y el clima (Wager & Baker, 2003).

En el tema forestal, Castaños (1962) cita trabajos que destacan la importancia de la profundidad y el pH del suelo, la elevación sobre el nivel del mar, la localización del sitio con respecto a la faja de neblina del verano y la precipitación media anual.

Diversas investigaciones estudian la relación de las densidades forestales y el crecimiento de los árboles con diferentes resultados, encontrando que la altura en las distintas especies varía con relación a sus velocidades de crecimiento y habilidad para expresar dominancia y en un segundo término se retarda el crecimiento debido a las densidades forestales. Respecto al diámetro, algunos ecólogos indican que las densidades forestales excesivas aumentan la cantidad de auxinas, que a su vez aumentan la altura. Densidades forestales menores estimulan el crecimiento del diámetro de los árboles. (Oosting, 1951; Castaños, *op cit.*) Otros trabajos señalan que la altura y el diámetro están relacionados con efectos tales como la explotación forestal, incendios, plagas y enfermedades (Castaños, *op.cit.*).

4.1.3 Fotosíntesis

En el caso de la fotosíntesis en coníferas, ésta se extiende más allá de la estación de crecimiento. La variación de la tasa fotosintética neta es el resultado del cambio en la capacidad de las hojas, así como también de los ciclos climáticos y de la radiación; cambia de especie a especie y depende del medio que las rodea. También la temperatura tiene una fuerte influencia en el crecimiento de los pinos y en la fotorespiración y respiración oscura lo que reduce la fotosíntesis neta (Rundel & Yoder, 1998). La temperatura baja en el suelo inhibe la toma de agua por las raíces, lo que puede derivar en la desecación del follaje (Rundel & Yoder, 1998). Las temperaturas óptimas para las coníferas se ubican entre los 15 y 30 °C; sin embargo, los pinos muestran gran habilidad para aclimatar su respuesta fotosintética (Berry & Bjorkman, 1980) a los cambios estacionales en la temperatura. Las temperaturas óptimas más altas son para los pinos de zonas templadas (Teskey *et al.* 1994a, citado en Rundel & Yoder, *op. cit.*).

Aunque muchas especies de pinos ocupan lugares con baja precipitación pluvial, hay evidencias de que pueden absorber humedad a través de las acículas (Rundel & Yoder, 1998). En observaciones experimentales se ha descrito el cambio en la capacidad fotosintética máxima de *P. jeffreyi*, se registra al inicio de la temporada de crecimiento en mayo y junio; disminuye hasta llegar a las tasas más bajas en septiembre y se reestablece con la llegada de las primeras lluvias de otoño, manteniendo la capacidad fotosintética aún cuando la temperatura en ésta época es más baja que la óptima; por lo que la radiación solar se vuelve el factor limitante (Patterson & Rundel, 1993).

4.1.4 Xilema

Los árboles cuya madera presenta diferentes anillos de crecimiento poseen diferencias en la proporción de madera tardía y madera temprana (Gartner, 1995). En algunos casos la madera más externa tiene una proporción más alta de madera tardía que la de la madera de la medula de la mayoría de las maderas suaves (Gartner, *op. cit.*) y en otros casos el arreglo celular de las traqueidas al exterior del tallo hace que en algunas especies haya una menor proporción de madera tardía (Gartner, *op. cit.*).

La variación en el gradiente radial parece caer en diferentes patrones y no es posible saber si el patrón típico es resultado de la selección de óptimos biomecánicos o

hidráulicos, o si es una respuesta plástica a los cambios del ambiente percibidos por la planta, o bien está controlada ambientalmente pero no relacionada con la selección mecánica o hidráulica (Gartner, 1995), lo cierto es que influye sobre la arquitectura hidráulica del xilema (Wang & Aitken, 2001) y sobre la eficiencia del transporte de agua a través del tallo, y dada por la conductividad hidráulica (k_h) y la conductividad específica (k_s).

$$k_h = V/(t\Delta P/L)$$

$$k_s = Kh/A_{stem}$$

“La conductividad hidráulica (k_h) es una medida de cuanta agua sale de un segmento de tallo (sin especificar diámetro) por unidad de tiempo por gradiente de presión, donde V es el volumen de agua, t es el tiempo ΔP es la diferencia de presión entre los dos extremos, y L es el largo.” El resultado de este concepto se incluye en la formula de la conductividad específica (k_s) “la cual es una medida de cuanta agua transportara por unidad de tiempo por gradiente de presión, normalizado por su sección transversal, y A_{stem} es el área del tallo en su corte transversal”(Gartner, 1995)

En las coníferas existe la evidencia de mecanismos diferentes para la conducción de líquidos entre las traqueidas ya que los hoyuelos (areolas) de las membranas de las traqueidas de la médula de la madera temprana, parecen más “aspirar”(presión negativa) indicando que el conducto ha sufrido embolia, que los hoyuelos de las membranas de la medula de la madera tardía, (Wardrop & Davies, 1961 citados en Gartner, 1995). No obstante, que algunos resultados indican que diferentes individuos de una misma especie de árbol con características diferentes de crecimiento (rápido o lento) diferentes tipos de densidad de su madera (baja densidad ó alta densidad) y con distinta arquitectura xilemática; dan resultados similares (Wang & Aitken, 2001).

En comparación con las angiospermas con adaptación a climas fríos, la estructura del xilema en coníferas les permite tener una mejor respuesta funcional en sitios donde se exponen al embolismo (introducción de aire en la cavidad del xilema), a la sequía del invierno y a los ciclos de congelamiento y descongelamiento (Kuroda *et al.* 2003).

La adaptación a estas condiciones repercute en su crecimiento, y en su anatomía tanto microscópica como macroscópica (Rundel & Yoder, 1998), ofreciendo en algunos casos, resultados que proponen una “vulnerabilidad adaptativa” de algunas coníferas para este medio, esto significa que cuidan partes importantes del organismo y sacrifican otras ya sea disminuyendo la conductancia ó bajando los potenciales hídricos (Mayr *et al.* 2003 a, b.), un ejemplo de esto es un estudio de la repercusión de la sequía invernal de alta montaña a través del año, la cual mostró pérdidas significativas en la conductividad hidráulica de ramas pero no en los brotes líder del abeto noruego (*Picea abies* L. Karst) (los cuales fueron encontrados eficientes hidráulicamente), mientras que en un estudio comparativo de este pino con *Pinus cembra* (Stone pine) se encontró que este organismo tenía una menor transpiración foliar pero los potenciales bajaban a niveles críticos, en comparación con el abeto noruego, en el que los resultados indicaban que los posibles embolismos de los conductos cavitados en la época de invierno podían ser rellenados (Mayr *et al.* a, b. *op. cit.*).

4.2 Variación en los organismos.

El producto de la influencia de factores ambientales y genéticos que da como resultado un conjunto de diferencias morfológicas, anatómicas, y/o fisiológicas entre individuos de la misma especie, se define como variación (Brauer, 1986; Padilla, 1987).

Los factores ambientales poseen un fuerte valor selectivo que determinan cuales han de ser los organismos sobrevivientes, (Lal, 1992) y son los que han moldeado a las poblaciones de los árboles obteniendo una alta especificidad para un ambiente (Nienstaedt, 1989), de esta manera, el organismo encuentra una gran competencia intraespecífica debido a que los organismos de la misma especie compiten por los mismos recursos, (Lal, 1992), por lo que no es posible cambiar individuos de un ambiente a otro diferente sin que esto deje de observarse en las características estudiadas (Nienstaedt, 1989). Es por ello que la selección natural actúa dando como resultado que los individuos menos adaptados sean los que no sobrevivan a dichas condiciones (Lal, *op cit*); sin embargo, también es posible que dos individuos de la misma especie no respondan de la misma manera a los mismos factores como la temperatura, la luz o el suelo, y por ello las poblaciones que muestran diferencias

genéticas, que tengan significado ecológico, se conozcan como ecotipos (Lal, 1992). De esta manera, encontramos que el microclima es mucho más relevante que el clima en sí mismo (Lal, *op cit.*).

La variación de los organismos puede ser continua (caracteres con valores secuenciales con un cambio continuo a lo largo de una distribución) o discontinua (cambios repentinos en características de una población a otra) (Nienstaedt, 1989).

Las variaciones de los organismos dentro de poblaciones se pueden deber a diferentes fuerzas selectivas, como la deriva genética, mutación, selección natural, hibridación y recombinación genética, en el caso de las diferencias entre árboles individuales se atribuyen a la interacción de factores como el ambiente en que crecen y a la información genética del árbol. A este respecto y citando textualmente “La investigación ha demostrado que la mayoría de las propiedades de la madera, así como también las características de forma y crecimiento del árbol que afectan a la madera, son lo suficientemente heredables para obtener ganancias rápidas económicamente importantes mediante la manipulación genética”, “Las características de la madera son el resultado de procesos variables de crecimiento, y cualquier factor que afecte el patrón de crecimiento de un árbol puede afectar también las propiedades de la madera. Si los árboles crecen en suelos arenosos o arcillosos, bajo estaciones de crecimiento breves o prolongadas, o bien están expuestos a variaciones ambientales distintas e importantes, debe esperarse algún efecto del ambiente sobre la calidad de la madera” (Zobel y Talbert, 1988). A pesar de que se ha mencionado que el organismo tiene una particular relación con los factores ambientales, cabe destacar que no es una relación lineal (Lal, 1992), ya que el incremento de un factor, si bien, da una respuesta determinada, ésta tendrá también un intervalo de expresión óptimo para cada organismo (Lal, *op cit.*). De esta manera, es posible en el ámbito forestal, tratar de analizar la respuesta de los árboles de un sitio determinado para obtener progenie mejor adaptada de acuerdo a las condiciones imperantes en el sitio de estudio, facilitando que los sitios semilleros puedan ser seleccionados relacionándose con la temperatura y el régimen de humedad (Balduman *et al.* 1999).

4.3 Estudios de carácter forestal en México.

México, debido a su posición geográfica cuenta con un gran potencial forestal. Dentro del territorio se encuentra la mayor diversidad mundial del género *Pinus* (CONABIO, 2001), se distribuye en un gradiente altitudinal de 1500 a 3000 m snm. (Olvera, 1985), con cotas extremas que se ubican en los 120 m snm (Chavelas, 1981), hasta los 4000 m snm (Rzedowskii, 1978). Los pinos forman con otros árboles como oyameles, encinos y cipreses, los bosques de coníferas, que ocupan alrededor de 17 millones de hectáreas (SARH, 1994 citado en CONABIO, 2001), lo que conforma el 34 % de la superficie arbolada del país, y cabe destacar que, en nuestro país en 1996, el 85% de la producción de madera provenía de los pinos (SAGAR, 1996 citado en Ortega, 1999). En México el género *Pinus* se distribuye en la Sierra Madre Oriental, Occidental, la Sierra Madre de Chiapas y Sierras de Juárez en Oaxaca y San Pedro Mártir en Baja California Norte (Chavelas, 1981).

Respecto al clima, la mayor precipitación se encuentra en el flanco Este de la Sierra Madre Oriental y ubica a las mejores masas forestales naturales de esta sierra en sitios con precipitaciones de 1200 mm, en el estado de Veracruz, mientras que en Chihuahua y Durango se ubican en áreas con 800 mm aproximados de lluvia y mostrando una mejor calidad de estación¹(Eguiluz, 1982).

En el caso de los climas templado y templado frío, estos poseen un periodo secundario de lluvia en el invierno, que se precipita en forma de escarcha o nieve especialmente por encima de los 3000 m snm en el Eje Neovolcánico y 2500 m snm en el Norte de la Sierra Madre Occidental, donde se presentan alrededor de 100 heladas por año y hasta 150 en regiones montañosas de Chihuahua (Eguiluz, op. cit),

4.4 *Pinus patula* Schltdl. & Cham.

Familia: Pinaceae

Nombres comunes: Pino colorado, ocote macho, ocote colorado, pino xalocote.

Pinus patula llega a tener de 30 a 35 m de altura y diámetros que varían de 50 a 90 cm, las hojas o acículas se acomodan en fascículos de 3, 4 y ocasionalmente 5, delgados y

¹Término que indica a los técnicos forestales la capacidad productiva de un área forestal para una cierta especie o combinación de especies y que está determinada por la acción e interacción de factores climatológicos (Castaños, 1962).

pendulares con una longitud de 15 a 25 cm; de color verde pálido y con bordes finamente serrados. Con presencia de estomas en la superficie dorsal y ventral. Presentan de 1 a 4 canales de resina, siendo generalmente 3 en la parte media con 1 a 2 en la parte interna; Las paredes externas del endodermo son de delgadas a ligeramente gruesas, tiene 2 manojos fibrovasculares contiguos pero distintos y presentan las hojas de los fascículos de 10 a 15 mm de largo y persistentes (Perry, 1991).

La anatomía de su madera no presenta diferencia entre albura y duramen (Pérez & Olvera, 1981), con madera temprana de color castaño amarillenta y madera tardía muy pálida sin color ni olor característico, y brillo bajo veteado dado por los anillos de crecimiento con textura de fina a mediana e hilo recto (Pérez & Olvera, 1981).

Tiene anillos de crecimiento definidos, las bandas de la madera tardía y temprana tienen ancho homogéneo y rayos visibles en la cara transversal y presencia de canales resiníferos. Sus traqueidas son largas y el diámetro tangencial es de lumen mediano, las paredes de la madera temprana son delgadas y tienen lumen fino en el de diámetro tangencial y paredes delgadas en la madera tardía, las caras radiales presentan una hilera de puntuaciones areoladas (Pérez & Olvera, 1981) los rayos son poco numerosos homogéneos y muy bajos (que tienen tamaños similares y no mayores a 200 micras); cuando no tienen canal, son uniseriados y los que lo presentan son fusiformes siendo en la parte cercana del canal de 2 a 3 series; y se observan de 1 a 3 puntuaciones de tipo pinoide en los campos de cruzamiento; en las traqueidas de rayo se observan bordes dentados y pocos canales longitudinales por mm² con ausencia de parénquima axial (Pérez & Olvera, 1981).

Los conos se clasifican en la sección de serótinos con escamas duras y fuertes (Perry, 1991), oblicuos, persistentes y brillantes (Vázquez *et al*, 1962 citado en Villaseñor & Carrera, 1980), su semilla tiene ala articulada (Vela, 1976) llegando a una longitud 17 mm de largo (Perry, 1991), las semillas tienen un color de café oscuro a negro (Perry, 1991) con 4 ó 5 cotiledones (Perry, 1991) llegando a ser de 112,000 a 115,000 semillas por kilogramo (Vela, 1976).

El uso que se da a *Pinus patula* es en acabados de interiores y exteriores de casa-habitación, postes para servicios públicos, bases para pisos, madera aserrada, duelas,

construcción en general, estructuras, armaduras, columnas, triplay, chapa, durmientes, vigas, cajas y empaques y pulpa de papel. El uso recomendado es para cubiertas de carros de ferrocarril, postes de transmisión de telégrafo y teléfono, pisos de duela, tarimas y cancelos (Pérez & Olvera, 1981).

Los estudios sobre *Pinus patula* abarcan diversos temas, desde su distribución en el territorio nacional, en donde se encuentra como una de las especies que se agrupan como masas puras de gran extensión, junto con otros como *P. hartwegii*, *P. engelmannii*, *P. durangensis*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus* y *P. arizonica* (Eguiluz, 1982), Respecto a la densidad poblacional de *P. patula*, Castaños (1962) señala que sus poblaciones no cambian cuando existen variables respecto a la profundidad del suelo, pero que su densidad poblacional disminuye al aumentar su elevación sobre el nivel del mar.

Las investigaciones en México han enfocado parte de sus esfuerzos a tratar de predecir el crecimiento de *Pinus patula* mediante índices forestales, y a evaluar cultivos mixtos con otras especies de pinos, su capacidad productiva forestal en un área dada (Castaños, 1962; Monroy, 1996); a este respecto, existen observaciones sobre el crecimiento de *P. patula* el cual se ve retardado por las bajas temperaturas que se presentan fuera de los trópicos y aunque la especie pueda resistir temperaturas tan bajas como $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, en un periodo de estado inactivo (Golfari, 1970 citado en Wormald, 1975); también el crecimiento de *P. patula* se incrementa con un aumento en la temperatura (Ochieng, 1969 citado en Wormald, 1975) y el crecimiento en lugares más cálidos finaliza más pronto que en lugares más fríos (Marshall & Foot , 1969 citados en Wormald, 1975), por otra parte en dos lugares con presencia natural de *Pinus patula* sometidos a diferentes intensidades de aclareo se estudió la producción de biomasa, área foliar y eficiencia de crecimiento y se encontró una relación negativa lineal entre el índice de área foliar y la eficiencia de crecimiento (Claudio, 1995). Sobre este mismo tema existen antecedentes que señalan que el crecimiento del brote líder se correlaciona positivamente con la temperatura máxima y media, pero no tiene ninguna relación con la temperatura mínima y sí una correlación negativa fuerte con la precipitación (Leyva, 1994). En otros aspectos de interés, en un estudio comparado (Vargas, 1986) no se obtuvieron diferencias significativas de la frecuencia estomática de *Pinus patula* en

comparación con *P. greggi*, encontrando en *P. patula* la tendencia a una mayor cantidad de estomas.

En otra investigación se obtuvieron resultados sobre su susceptibilidad a microorganismos en ambientes con modificaciones del fotoperiodo, que sugieren su debilidad en ambientes de sombra (Gómez & Sánchez, 1976). En un trabajo comparativo del efecto de la presión osmótica en la germinación de *P. montezumae* y *P. patula* se encontró que éste último presentó mejores resultados en la germinación debido posiblemente más a las diferencias de la especie que a la presión osmótica (Arreola, 1986); finalmente también se conoce que *P. patula* posee una carga cromosómica de $2n = 24$ cromosomas (Cid, 1965).

4.5 Distribución

Las temperaturas de los lugares en que se distribuye *Pinus patula* se encuentran entre 10 y 16 °C con una media del mes más frío entre 8 y 12 °C y en el mes más cálido de 12.7 a 20 °C (Vela, 1980) y entre altitudes de 1500 a 3100 m snm (Perry, 1991). Su distribución se sitúa en la sierra Madre Oriental (Vela, 1976) donde recibe humedad a lo largo del año por lluvias y niebla en los estados de Tamaulipas, Querétaro, Morelos, México, Norte del estado de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca y el Distrito Federal (Vela 1976; Perry, 1991). Los crecimientos óptimos se reportan en lugares bien drenados con lluvias de 1000 a 1500 mm anuales (Perry, *op.cit.*), sin embargo, existe una población que se ubica en el tope de la cota más alta de 3100 m en el Distrito Federal (Perry, *op.cit.*)

4.6 Clima

El ambiente físico es un componente abiótico que comprende a las condiciones climáticas y a los elementos que componen el suelo y la atmósfera (Lal, 1992). El clima posee una gran importancia ya que influye en la distribución de las plantas, debido a que puede limitar sus procesos fisiológicos, y sobre todo influir en la riqueza de especies (Francis & Curie, 2003). El clima posee una estrecha relación con las estaciones. Desde un punto de vista histórico, a lo largo de la historia del hombre se ha establecido el

calendario en relación a las cosechas (Battey, 2000). El clima además puede influir en la expresión de los genes (Shepherd *et al.* 2003).

La **temperatura** es una variable ambiental asociada al calor, que depende a su vez de la radiación solar. La radiación solar que llega a la superficie de la Tierra varía en cantidad y calidad de acuerdo con la latitud y del punto de incidencia, la estación del año y hora del día, y es un factor que determina la fisiología, la morfología, el comportamiento y la historia de vida de los organismos (Lal, 1992). Un ejemplo de esto lo encontramos en el caso de la fotosíntesis, ya que la temperatura influye en las plantas dependiendo de la especie y de las características del hábitat, haciendo que los óptimos fotosintéticos difieran aun entre organismos de la misma especie pero de amplia distribución. En estos casos se desarrollan mecanismos que permiten a las plantas aclimatarse a las distintas temperaturas del ambiente. Las plantas nativas muestran más capacidad de aclimatación a los cambios estacionales en la temperatura (Berry & Bjorkman 1980).

La **precipitación** es el segundo factor más importante ya que es un requisito indispensable para la vida, el agua es el medio en el que se realizan las reacciones químicas. Para las plantas, es el medio en el que se disuelven los nutrientes que serán llevados del suelo al interior de su organismo (Lal, 1992).

La mortalidad también se ve influida por las condiciones climáticas y sus variaciones estacionales, esto se observa en estudios que relacionan a la mortalidad con la ausencia de precipitaciones invernales (Salmon, 1980) y con factores microclimáticos como la temperatura máxima y media del verano, las cuales afectan la mortalidad y el crecimiento de *Pinus banksiana* Lamb y *Picea glauca* (Moench) Voss (Mac Hattie & Horton, 1963). Además, dichos estudios indican que a temperaturas altas se incrementa el diámetro de las plantas (*Pseudotsuga menziesii*)(Mirb) (Franco) pero disminuye el tamaño en altura y la biomasa foliar (Olsyk *et al.*, 1998). Esto se asocia también con las características de la madera las cuales, están controladas por factores ambientales como el clima (Yu *et al.* 2003; Panyushkina, 2003). En algunos trabajos se manifiesta que no se encuentra una relación con las dimensiones celulares, pero sí con la producción celular asociada con la edad del cambium, éste estudio realizado en Siberia en *Larix cajanderi*, obtuvo información sobre los meses implicados, por ejemplo, temperatura media de junio con el total del número de células y julio y septiembre con el grosor de

la pared celular de la madera tardía. También se señala que este tipo de cambios en la madera está asociado con la estacionalidad de cada lugar y con la biología de cada especie, siendo el efecto de la temperatura mayor al inicio y al final de las estaciones. Finalmente cabe destacar que para los técnicos forestales es importante considerar para el establecimiento de plantaciones forestales factores tales como las temperaturas máximas, mínimas y medias, además de la precipitación anual y el grado de evaporación (Caballero & Prado, 1969).

4.7 Índices climáticos

Los elementos climáticos: temperatura y precipitación han sido los más usados para la clasificación de los climas, de ellos se derivan varios índices que han tratado de vincularlos matemáticamente de diferentes formas. Estas relaciones tratan de definir la efectividad de la lluvia como algo dependiente de la temperatura de la región estudiada, ya que la temperatura influye en la evaporación del agua; por lo que esta relación tiene una fuerte influencia en la vegetación de las regiones. Uno de los primeros índices usados fue el índice de Lang o factor de lluvia, (P/T) el cual fue modificado por De Martonne quien introdujo el índice de aridez $(P/T+10)$, posteriormente Köppen tratando de ajustar este índice a los lugares observados sugirió un índice más flexible desarrollando otra fórmula $(P/T+7)$ de acuerdo a si la región experimentaba predominantemente lluvias de invierno ó verano, Gausson por su parte intentó buscar la definición de “mes seco” proponiendo su fórmula $(P/(2T))$ (Soto & Jáuregui 1965; Crowe 1971).

Es sabido que las temperaturas bajas participan de diferentes formas en el desarrollo de las plantas, las especies caducifolias se ven influenciadas por la temperatura invernal para el crecimiento y producción de frutos, como un ejemplo de la influencia de las temperaturas bajas en las plantas encontramos a la fresa cuya formación de estolones, esta influenciada por este factor, esto se relaciona con el concepto de horas frío, que están definidas en general como la cantidad de tiempo en que la planta permanece en temperaturas menores a 7°C (Andres 1992; Meza 1992).

4.8 Investigaciones sobre la longitud de traqueidas

Presumiblemente desde 1872 en Alemania y desde 1956 en México encontramos estudios de la longitud de las traqueidas en preparaciones semi permanentes y en material disociado (Sanio, 1872 citado en Saren 2001. Mancera, 1956 citado en Huerta, 1976). Existen trabajos que han tenido como objetivo obtener un mejor conocimiento de las maderas que existen en el territorio nacional, incluyendo sus posibles usos o aplicaciones y para facilitar la identificación de especies (Olvera, 1985 y 1981; Pérez & Olvera, 1981; Huerta, 1976).

Estos estudios han tratado de obtener las variaciones de las traqueidas que existen en los anillos de crecimiento ya sea entre especies, entre individuos de la misma especie y entre individuos de la misma especie pero con diferentes edades. La longitud de las traqueidas se considera importante ya que proporciona las características del papel, pues la estructura celular afecta de manera importante las propiedades mecánicas, lo que influye sobre el proceso de fabricación del papel y sobre el producto final (Wang & Aitken, 2001, Ceulemans, 2002) ya que tiene una relación directa con la resistencia al rasgado (Nicholls, 1967 citado en Ortega, 1999). Las traqueidas cortas son usadas para papel de impresión (suavidad, opacidad y lisura) y en algunos casos en que se requiere resistencia se considera necesario añadir cierta proporción de traqueidas largas (Larios, 1979). Adicionalmente a estos datos se menciona también que las fibras con diámetros más amplios y paredes más delgadas se colapsan más, con lo que puede hacer hojas de papel más fuertes y lisas (Wang & Aitken, 2001; Ceulemans, 2002).

Con relación a los factores que controlan la longitud de las traqueidas se indica que existe un fuerte control genético heredable (Dinwoodie, 1961; Van Buijtenen, 1965 citados en Ortega, 1999). No obstante, la utilidad obtenida del mejoramiento de la longitud de las fibras por el manejo genético a menudo es cuestionado si puede o no garantizar el esfuerzo (Ivkovich *et al*, 2002). En este mismo sentido encontramos investigaciones que reportan baja heredabilidad de esta característica como en *Pinus pinaster* (Keller, 1973 citado en Ortega, 1999), en *Pinus tadea*, (Loo-Dinkins *et al*, 1984) y otros en los que se reporta que la heredabilidad y su correlación con sus características varían a lo largo de los sitios de prueba (Ivkovich *et al*. 2002).

El estudio de la longitud de las traqueidas se ha enfocado en la producción de materiales y ha tenido como fundamento importante el control genético (Zobel & Jett, 1995 citado

en Ortega, 1999), lo que provoca controversias en su estudio además de repercusión económica. Citando un ejemplo en las traqueidas de la madera juvenil (madera cercana al centro ó medula del árbol) un incremento en la longitud de 2000 a 2500 micras representa un cambio importante, no obstante, que un cambio de 3400 a 4500 micras no es representativo, dado que una longitud de 2500 a 3000 micras es el que se considera como el mínimo para producir buen papel (Zobel & Jett, 1995 citado en Ortega, 1999). Tomando en cuenta este dato, encontramos que el problema de una alta productividad se podría contraponer con la calidad ya que se indica que posiblemente la correlación entre el tamaño de la traqueida y la tasa de crecimiento es negativa en las coníferas ya que cuando el crecimiento es rápido el cambium se divide antes de que las traqueidas tengan oportunidad de alcanzar su tamaño potencial (Bannan, 1956 citado en Ivkovich *et al.* 2002).

La investigación de la longitud de traqueidas ha arrojado resultados diferentes en cuanto al origen de la variación, ya sea entre especies (Feria, 1989), entre individuos de la misma localidad o sitio, en la posición que ocupan en el árbol (cercana a la corteza o a la medula, o cercanas al suelo o a la copa, (Vaca, 1992), a la edad, o con relación a la altitud o posición geográfica (Hernández, 1985; 1987; Vaca, 1992; Bonilla, 1993; Calixto,1996).

En las siguientes tablas se encuentran algunos de los trabajos realizados sobre la longitud de traqueidas de diferentes especies de pinos así como los datos climáticos de los sitios de estudio, y sus conclusiones.

Tabla 1 Longitudes de traqueidas obtenidas de algunos pinos (cuadro extraído de Calixto, 1996) y modificado con datos obtenidos de los antecedentes (Larios, 1979; Hernández, 1987; Fera, 1989; Vaca, 1992; Bonilla, 1993; Ortega, 1999)

Autor	Especie	Promedio (micras)	Altitud o ubicación en grados.	Precipitación.	Temperaturas.	Ubicación	Conclusiones
Larios, 1979.	<i>Pinus hartwegii</i> <i>Abies religiosa</i>	3620 3760	19° 12'30" y 19°20'00"Norte, 98° 42'30" y 98° 30' 00" Oeste, con la cota mas alta del cerro tres cruces con 3680m snm y la mas baja en Tlalpuente con 3080 m snm	Precipitación media anual 1180 mm el 75 % cae en los meses de junio y septiembre, con las mínimas en febrero y la máxima en julio.	Temperatura media anual de 13 °C con máximas de 31°C en los meses de junio y mínima de -8 °C en Diciembre y Enero.	Campo Experimental Zoquiapan, Edo. Méx.	La longitud de las traqueidas se incrementa de la médula a la corteza, 36% en <i>Abies</i> y en <i>Pinus</i> 16 %.
Hernández, 1987.	<i>P.patula var. longipedunculata</i>	3210	2667 m snm	Precipitación media anual 1605.2 mm.	Temperatura media anual 16.3 °C	San Pablo, Macuilianguis, Mpio. de Ixtlán, Oax.	Se encontró una alta variabilidad en la longitud de traqueidas de las cuatro especies, no encontrando diferencias entre las especies, pero sí entre árboles dentro de las especies.
	<i>Pinus rudis</i>	3430	2683 m snm	Precipitación media anual 1036.7mm.	Temperatura media anual 16.1 °C	Llano de Flores, Mpio. De Ixtlán, Oax.	
	<i>Pinus oaxacana</i>	2900	2633 m snm	Precipitación media anual 965.0 mm.	Temperatura media anual 17.5 °C	San Juan Atepec, Mpio. de Ixtlán, Oax.	
	<i>Pinus teocote</i>	3790	2272 m snm	Precipitación media anual 834.3 mm.	Temperatura media anual 17.1 °C	Ixtepexi, Mpio. de Ixtlán, Oax.	

Feria, 1989.	<i>Pinus maximinoi</i>	4060	1114 m snm			San Jerónimo Coatlán Municipio de Miahuatlán, Oaxaca.	La fuente de variación se dio principalmente entre los individuos de cada especie.
	<i>Pinus oocarpa</i>	3730	1871 m snm			Santa María Yolotepec, Municipio de Juquila, Oaxaca	
	<i>P. michoacana var. cornuta</i>	3660	1706 m snm			Los Santos Reyes, Municipio de Sola de Vega Oax.	
Vaca, 1992.	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	2190	Entre 1730 y 2000 m snm	precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm	temperatura del mes mas frío entre 3 y 18 °C.	Unidad de Administración Forestal No. 2 Santiago Papasquiario.	El mayor porcentaje de variación se atribuyó a la edad, La longitud de traqueidas aumento del centro a la periferia del árbol y disminuye de la base del árbol a la copa.
Bonilla, 1993.	<i>Pinus hartwegii</i>	3520	A lo largo de los paralelos 19° y 20° en el Eje Volcánico Transversal.				El muestreo arrojó como resultado un patrón de variación discontinuo entre las localidades con aumento del Este al Oeste; dentro de los árboles se encontró que aumentan conforme aumenta la edad (medula-corteza). Siendo la fuente de variación principal entre los árboles de las localidades y en segundo término a las localidades atribuyéndolo a fuente genética.

Calixto, 1996.	<i>Pinus herrerae</i> Martinez	3957, 4426 y 4418	Entre los paralelos 23°05'10", 24°11'12" y los meridianos 105° 11'19", 105°55'50" Latitud Norte y longitud Oeste, con una altitud promedio de 2500 m snm.	Precipitación media anual de 1300mm	Temperatura media anual de 18.8 °C y 3 °C a 18 °C.	Unidad de Administración Forestal No. 6, El Salto Durango.	No hay diferencia entre sitios, aunque si hay diferencias entre los árboles dentro de los sitios, lo asocia a los factores genéticos principalmente y poco relacionado con los factores ambientales.
Ortega, 1999.	<i>Pinus patula</i> Schltdl & Cham.	Se obtuvieron máximas medias y mínimas de Naolinco siendo 2158, 1916.55, 1668. Y Orizaba 2452, 1804, 1419 micrómetros respectivamente	El Berro- Orizaba con una altitud de 2600 m snm, y el segundo en La Moraleja, Naolinco 1370 m snm. Ambos en Veracruz.	El Berro Orizaba 1274 mm y La Moraleja Naolinco 1466.8 mm	Temperatura media anual de 9.4 °C para El Berro, Orizaba y la Moraleja Orizaba, de 18 °C	El Berro Orizaba y La Moraleja, Naolinco, ambos en Veracruz.	Se obtuvo que la fuente de variación se atribuye a las diferencias de los sitios llegando a ser el 80% de los casos y se sugiere para hacer mejores cultivos se tiene que seleccionar a los padres que sean más adultos y presenten la longitud de traqueidas lo más cercano a una etapa adulta.

4.9 Investigaciones sobre la densidad relativa y pesos específicos.

Peso específico de la madera, densidad de la madera, o densidad relativa de madera.

Los conceptos conocidos como peso específico y densidad de la madera, son diferentes maneras de manifestar la cantidad de materia de la madera que está presente (Vaca, 1992) y esto representa un valor de importancia, ya que las características físico-mecánicas de la madera determinan su uso en la industria (Brown *et al.*, 1952; USDA, 1963; Einspahr *et al.*, 1969; Harris, 1970; Williamson, 1975; Panshin & de Zew, 1980; Pearson & Gilmore, 1980; García, 1984). El peso específico (P_E) es el cociente del peso de un volumen dado de madera (P_{VM}) entre el peso de un volumen igual de agua (P_{VA}), siendo éste adimensional (carente de unidades). La densidad de la madera (D) es el peso de la madera (P_M) en términos de unidad de volumen (V) su unidad de medición es kg m^{-3} (Zobel y Talbert, 1988):

$$P_E = P_{VM}/P_{VA} \quad (1)$$

$$D = P_M/V \quad (2)$$

La fuente de variación de estas características, se le atribuye a muchas variables entre las cuales figuran el grosor de la pared celular, la cantidad de madera de verano, el tamaño de las células (Zobel y Talbert, 1988), así como factores internos como la edad, especie, y externos como los tratamientos silvícolas, la densidad de la masa forestal y factores naturales (Kollman 1959; Hawley y Smith, 1972).

Otra fórmula para el peso específico fue desarrollada por Markward y Heck (Echenique y Díaz, 1972, citados en Vaca, 1992) como la definición del peso anhidro (P_A) entre el volumen verde (V_V) ($P_E = P_A/V_V$).

Finalmente, una fórmula para obtener la densidad relativa (D_R), utiliza los datos del peso anhidro (P_A) y los del volumen en estado saturado de agua (V_S) esta última será utilizada en el presente trabajo (Chan y Azueta, 1992 citado en Ortega, 1999) como se muestra a continuación:

$$D_R = P_A/V_S \quad (3).$$

Se han llevado a cabo diversas investigaciones para estudiar la densidad relativa y el peso específico de la madera. Se puede destacar en primer lugar el trabajo desarrollado a partir de injertos de diferentes organismos con diferentes densidades en *Pinus elliottii* (Zobel *et al.*, 1962 citado en Ortega, 1999), el cual mostró resultados que indicaban un control genético de la densidad; no obstante, de la densidad relativa se afirma que no es una característica simple sino que es producto de otras características (Zobel & Talbert, 1988), tales como el porcentaje de la madera tardía, las dimensiones de los elementos celulares y los tipos y cantidad de extractivos (son los materiales infiltrados en las paredes celulares tales como los polifenoles, resinas, caucho etc. (Panshin & de Zew, 1980)). En este mismo tema el mejoramiento de esta característica en algunos estudios en *Pinus tadea*, han arrojado resultados que sugieren que el incremento de esta característica con base en la selección de organismos juveniles, podría dar como resultado un incremento en la densidad aunque estaría limitado al incremento de la densidad de la madera temprana (cercana a la médula) (Gwaze *et al.*, 2002), esto acompañado de investigaciones en pinos híbridos que indican una falta de correlación genética entre la densidad de la madera y el crecimiento del diámetro, además muestran una interacción de los genes y las estacionalidad (Shepherd *et al.*, 2003)

A este respecto existen referencias que señalan que las tasas altas de crecimiento poseen una relación con un decremento de la densidad y calidad de la madera (Ceulemans, 2002; Ivkovich *et al.*, 2002; Makinen *et al.*, 2002), ya que el aumento en la tasa de crecimiento aumenta la proporción de la madera temprana en comparación con la madera tardía, por lo que en los árboles de rápido crecimiento se reduce la densidad de la madera. En algunos estudios este resultado es probable debido al aumento de la madera temprana junto con el aumento de fibras, y el diámetro del lumen (Makinen *et al.* 2002). En *Pinus radiata* que crece en Nueva Zelanda, la densidad de la madera se relacionó con la temperatura máxima diaria (Cown *et al.*, 1991 citado en Shepherd *et al.*, 2003).

En un estudio realizado vía infección de hongos en el follaje se obtuvieron resultados que sugieren que el follaje maduro es el responsable de la formación de la madera temprana y el follaje nuevo de la madera tardía; de esta manera, los hongos que infectan

al follaje maduro dan como resultado el aumento de la densidad de la madera, producto del aumento de la madera tardía que depende del follaje nuevo (Johnson *et al*, 2003). En este mismo sentido otra investigación sugiere que las concentraciones de gases como el CO₂ afectan la producción de madera en biomasa y en volumen, con aumento en los anillos de la madera, lo que se asocia con el aumento de la madera temprana, sugiriendo que el aumento se debe a traqueidas más largas con paredes más delgadas que disminuyen los canales de la resina, lo que sugiere que posiblemente la resistencia de la madera disminuye pero no afecta la densidad de la madera (Ceulemans 2002).

A continuación las tablas muestran algunos de los trabajos desarrollados con relación a la densidad de la madera.

Tabla 2 Trabajos relacionados con la densidad de la madera.

Autor	Especie	Resultados	Altitud o ubicación en grados.	Precipitación.	Temperaturas.	Ubicación	Conclusiones
Valencia, 1994.	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham.		20° 25' de latitud norte, y 98° 23' de longitud Oeste, con una altitud de 2250 m snm.	Precipitación media anual de 2000 mm	Temperatura media anual de 13 °C	Ejido Canalejas de Otates, Municipio de Zacualpan, Ver.,	La densidad de la madera es altamente heredable a nivel individual, pero se concluye que el aumento de la velocidad de crecimiento disminuye la densidad de la madera obtenida.
Calixto, 1996.	<i>Pinus herrerae</i> Martínez	El peso específico de la madera var. fue diferente en los sitios de estudio, siendo 0.48, 0.49 y 0.43	entre los paralelos 23° 05' 10", 24° 11' 12" y los meridianos 105° 11' 19", 105° 55' 50" Latitud Norte y longitud Oeste, con una altitud promedio de 2500 m snm.	Precipitación media anual de 1300mm	Temperatura media anual de 18.8 °C y 3 °C a 18 °C.	Unidad de Administración Forestal No. 6, El Salto Durango.	El análisis de varianza mostró diferencias entre los pesos específicos de los sitios, siendo entre árboles la mayor fuente de varianza.
Hernández et al., 1996.	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham.	Se presentaron diferencias en cuanto a la densidad de la madera en los rodales aclareados				Chignahuapan - Zacatlan, Puebla	El aclareo disminuyó la densidad de la madera en los rodales aclareados en comparación con los testigos, siendo la disminución de la densidad de la madera mayor en la parte baja del árbol que en la parte alta; sin embargo se hace la aclaración de que estas diferencias no fueron significativas.

Vaca, 1992.	<i>Pinus cembroides</i> Zucc.	Se determinó un peso específico promedio de .58	Entre 1730 y 2000 m snm	Precipitación invernal entre 5 y 10.2 mm	Temperatura del mes mas frío entre 3 y 18 °C.	Unidad de Administración Forestal No. 2 Santiago Papasquiario.	El mayor componente de variación se presentó dentro de las rodajas del mismo árbol, (70.1%), y esta característica se ve afectada por la existencia de otros extractivos.
Ortega, 1999.	<i>Pinus patula</i> Schltld. & Cham.	La densidad en Naolinco obtuvieron máximas, medias y mínimas de 0.3893, 0.3407 y 0.2978 y en Orizaba 0.3761, 0.3257, 0.2899, respectivamente.	El Berro-Orizaba con una altitud de 2600 m snm, y el segundo en La Moraleja, Naolinco 1370 m snm, ambos en Veracruz.	El Berro Orizaba 1274 mm y La Moraleja Naolinco 1466.8 mm.	Temperatura media anual de 9.4 °C para El Berro, Orizaba y la Moraleja Orizaba, de 18 °C	El Berro Orizaba y La Moraleja, Naolinco, ambos en Veracruz.	Todas las familias muestreadas mostraron valores muy constantes tanto para Naolinco como para Orizaba.
Larios Sánchez, 1979	<i>Abies religiosa</i> y <i>Pinus hartwegii</i>	<i>Pinus hartwegii</i> presentó: Valor mínimo 0.28, máximo 0.59 y media de 0.44, en el caso de <i>Abies religiosa</i> el valor mínimo fue de 0.24, máximo de 0.41 y una media de 0.34	19° 12' 30" y 19° 20' 00" Norte, 98° 42' 30" y 98° 30' 00" Oeste, con la cota más alta del cerro tres cruces con 3680 m snm y la más baja en Tlalpuente con 3080.	Precipitación 1180 mm media anual siendo el 75 % en los meses de junio y septiembre, con las mínimas en febrero y la máxima en julio.	Temperatura media anual de 13 °C con temperaturas máximas de 31 °C en los meses de junio y temperaturas mínimas de -8 °C en diciembre y enero.	Campo Experimental Zoquiapan, Edo. Méx.	El peso específico aumenta conforme aumenta la edad del árbol.

5. Materiales y métodos

5.1 Obtención de muestras y posición geográfica en el campo.

La zona de estudio de este trabajo, la región del volcán Nauhcampaltepetl (4821m snm, Cofre de Perote), posee en su geografía la presencia del volcán Citlaltépetl (Pico de Orizaba) (5500 m snm), como la formación dominante que determina la variedad de climas en la región, la cual tiene un aprovechamiento histórico de uso forestal intensivo desde la época del Porfiriato, esto debido al impulso que se le dió al sistema ferroviario del país y que repercutió en una gran deforestación para la obtención de materiales para combustión y durmientes (Robles de Benito, 1982).

Se llevaron a cabo visitas a los lugares de muestreo de *Pinus patula* dentro de la región del Cofre de Perote, de dos localidades se obtuvieron muestras de organismos silvestres y cultivados siendo estos últimos individuos mejorados genéticamente y de plantaciones que están bajo la administración del Instituto de Genética Forestal de la Universidad Veracruzana que comprenden a Naolinco (19° 39' N, 96° 52' W, 1605 m snm) y Perote (19° 35' N, 97° 16' W, 2394 m snm).

Posteriormente, se obtuvieron muestras de organismos silvestres de los cuales se ubicó su posición y altitud en el campo con un sistema de posicionamiento global (Garmin GPS 38 Olathe, Ks, USA). Dichas posiciones son Toxtlacoaya (19° 37' N, 97° 03' W, 2303 m snm), Los Molinos (19° 35' N, 97° 12' W, 2463 m snm) y Las Vigas (19° 38' N, 97° 06' W, 2524 m snm).

En ambos casos, tanto para los organismos silvestres como los cultivados, del fuste de cada árbol se tomaron dos muestras con un taladro Pressler, a la altura del pecho, y se taparon los orificios con cera de Campeche para evitar infecciones posteriores en el árbol (Ortega 1999). De las dos muestras de madera de cada árbol, una se utilizó para el análisis de la densidad de la madera y la otra para la obtención de traqueidas (Ver la Tabla 3).

Tabla 3. Ubicación de los sitios y lugares de estudio donde se tomaron muestras de la madera de *Pinus patula* e información climática tomada de las estaciones climatológicas más próximas.

Sitio	Coordenadas	Altitud (m snm)	Estación asignada	Coordenadas	Altitud (m snm)	Años evaluados	Temperatura media (°C)	Precipitación (mm)	N silvestres	N cultivados
Naolinco	19° 39' N, 96° 52' W	1605	Naolinco	19° 39' N, 96° 52' W	1605	96,97,98	17.9	1802.3	3	5
Toxtlacoaya	19° 37' N, 97° 03' W	2302	La Joya	19° 37' N, 97° 1' W	2020	95,96,97	13.6	1913.3	5	-
Perote	19° 53' N, 97° 16' W	2394	Perote	19° 53' N, 97° 16' W	2394	95,96,97	12.7	546.0	8	5
Los Molinos	19° 35' N, 97° 12' W	2463	Frijol Colorado	19° 35' N, 97° 21' W	2430	94,95,96	12.8	145.4	5	-
Las Vigas	19° 38' N, 97° 06' W	2524	Xico	19° 31' N, 97° 06' W	2727	94,95,96	9.6	1231.8	5	-

5.2 Densidad relativa de Madera

Las virutas de madera se secaron en una estufa (Riossa, HSCFME, México) por 10 días a 70 °C. Posteriormente, éstas se pesaron para calcular su peso anhidro y a continuación se sumergieron en tubos de ensaye con agua bidestilada y mediante una bomba de vacío (Gast, DOA-P104-AA, Michigan, EUA) se hidrataron completamente. Una vez saturados, se cuantificó su volumen por medio del método de desplazamiento de líquidos por inmersión de agua. Con los datos del peso anhidro (P_A) y los del volumen en estado saturado de agua (V_S) para cada muestra, se obtuvieron su densidad relativa (D_R) (Chan y Azueta, 1992 citado en Ortega, 1999) como se muestra a continuación:

$$D_R = P_A/V_S$$

Se obtuvieron los datos de la densidad relativa de madera para los organismos silvestres siendo $n = 26$ y cultivados $n = 10$.

5.3 Longitud de Traqueidas

Para disociar las traqueidas, las muestras de madera se mantuvieron sumergidas en una solución 1:1 de ácido acético y peróxido de hidrógeno (Baker, México) en tubos de ensaye dentro de una estufa (Riossa, HSCFME, México) a una temperatura de 70 °C (Johansen, 1940). Las traqueidas ya disociadas se lavaron con agua destilada para eliminar la solución disociante y se montaron en laminillas semi permanentes con jalea glicerinada adicionada con pardo de Bismarck, se obtuvieron 10 laminillas por cada muestra de árbol. Posteriormente, con un microscopio previamente calibrado y preparado con iluminación Köheler (Olympus BH-2, Japón) ubicado en el Laboratorio de Ecofisiología del Crecimiento del Instituto de Ecología se midió en cada laminilla la longitud de 20 traqueidas, por lo que por cada árbol se obtuvieron 200 mediciones; siendo para los organismos silvestres $n = 5200$ mediciones y para los cultivados $n = 2000$ mediciones. Estos datos se digitalizaron en una hoja de trabajo (EXCEL 97, Microsoft, EUA).

5.4 Obtención de las estaciones y datos diarios correspondientes a temperaturas máximas, mínimas, precipitación e índices climáticos.

Las ubicaciones de las poblaciones obtenidas con el sistema de posicionamiento global se relacionaron con las estaciones climáticas más cercanas que se encontraran del mismo lado de la sombra orográfica y a altitudes y latitudes similares a partir de la información de la base de datos denominado ERIC2 (IMTA, 2000) que es una compilación de datos climáticos de las estaciones ubicadas dentro del territorio nacional. Se obtuvieron los datos diarios de tres años para cada estación de la temperatura máxima, temperatura mínima y de la precipitación, (Tabla 3) seguidamente se agruparon en hojas de trabajo (EXCEL 97, Microsoft, EUA) y mediante fórmulas, se calcularon los índices climáticos diarios de aridez De Martonne, de sequedad de Gaussen, de factor de lluvia de Lang, de factor de sequedad de Köppen y el coeficiente de humedad de Angstrom (Tabla 4).

Dichos índices contemplan diferentes constantes y relaciones de temperatura y precipitación. También se obtuvo el índice de hora frío. Este índice se obtuvo con el programa denominado TEMPA (Tejeda, 1990) el cual se maneja con una hoja de trabajo (EXCEL 97, Microsoft, EUA).

Tabla 4. Índices climáticos empleados en el análisis del clima en la región de Cofre de Perote (P es la precipitación pluvial y T es la temperatura media)(Lal 1992).

Índice de aridez De Martonne	$IA=P/(T+10)$
Índice de sequedad de Gaussen	$IS=P/(2T)$
Factor de precipitación Lang	$FPp=P/T$
Factor de sequedad de Köppen	$FS=P/T+7$
Coeficiente de humedad de Angstrom	$CH=P/((1.07)T)$

5.5 Análisis estadísticos y Regresiones lineales

Todos los análisis de varianza y regresiones simples se llevaron a cabo en un programa computacional (Statgraphic Plus, Manugistics Inc., Rockville Maryland, EUA).

A los resultados obtenidos de las mediciones de la longitud de traqueidas y de la densidad relativa de madera de los organismos silvestres de todos los sitios se les realizó una ANOVA de una vía para determinar si existían diferencias entre los sitios.

En el caso de las localidades de Naolinco y Perote de las que se obtuvieron organismos silvestres y cultivados se les llevo a cabo ANOVAS de una vía para determinar si había diferencias en los sitios ó si había diferencias entre silvestres y cultivados.

Para la densidad relativa de la madera y la longitud de traqueidas de los sitios de Naolinco y Perote se llevaron a cabo ANOVAS de una vía para determinar si existían diferencias tomando en cuenta la combinación de estos dos factores asignándoles abreviaturas (Nc = Naolinco cultivados, Ns = Naolinco silvestres, Pc = Perote cultivados y Ps = Perote silvestres).

A cada uno de los índices y datos obtenidos para los tres años, se les realizó un análisis de varianza para determinar si existían diferencias entre los sitios de cada índice y se obtuvieron matrices de correlación entre ellos.

Se obtuvieron los promedios mensuales de los tres años y el promedio de los tres años, con los que se llevó a cabo una regresión simple en cada uno de los casos para la longitud de las traqueidas y la densidad de la madera de los organismos silvestres, obteniendo 13 regresiones por índice y dato (una por cada mes evaluado y una general de todos los años para la longitud y la densidad, respectivamente), obteniendo un total de 260 regresiones simples (12 meses + 1 promedio anual = 13 x 10 regresiones = 130 x 2 (longitud y densidad)=260)

6. Resultados

Todos los resultados gráficos presentados se muestran siguiendo el gradiente altitudinal.

6.1 Longitud de traqueidas y densidad relativa de madera

La traqueidas de los individuos silvestres muestreados en Naolinco (2049.00 μ) fueron más cortas que las de los individuos muestreados en Perote (2440.4 μ) ($F_{4, 5195} = 33.11$, $p = 0.0000$); y en La Joya, Frijol Colorado y Xico no presentaron diferencias significativas con Perote. Sin embargo, LT fue más larga en estos sitios que en Naolinco y más cortas que en Perote (Fig. 2).

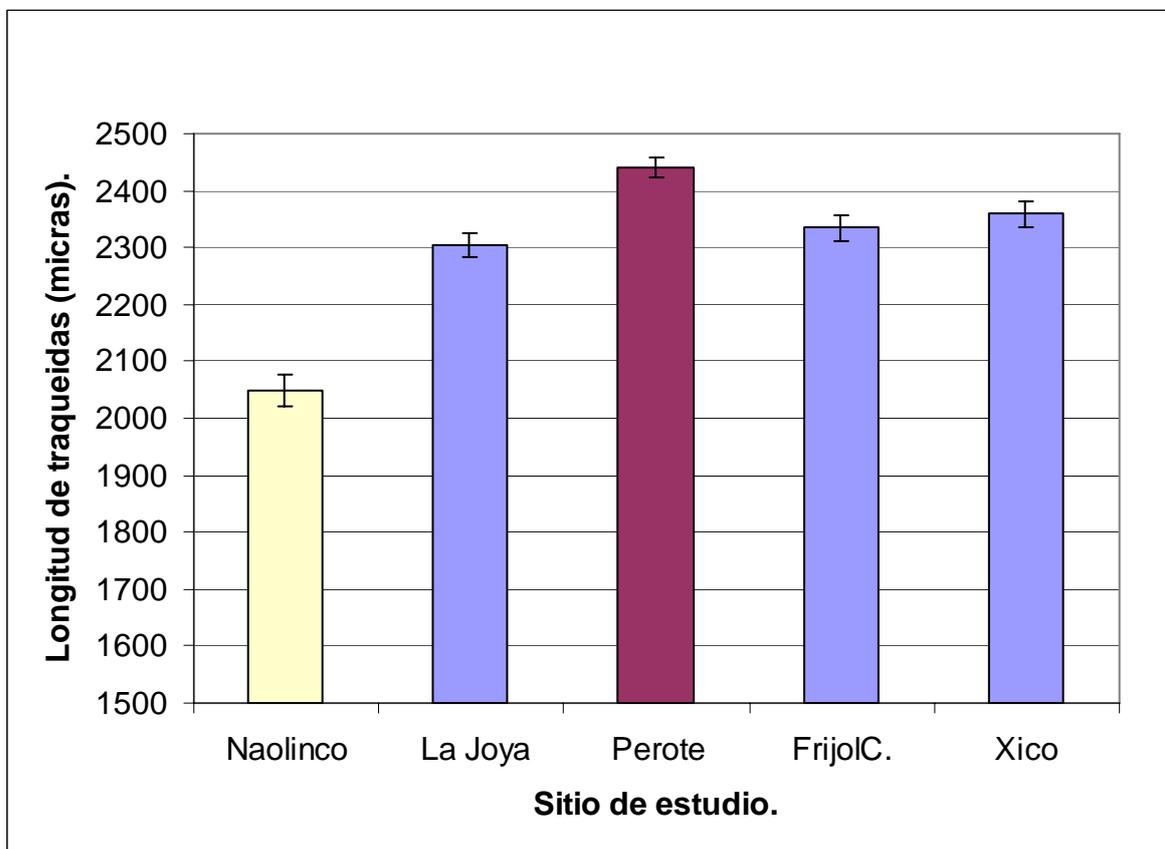


Figura 2. Longitud de traqueidas de *Pinus patula* de organismos silvestres en un gradiente altitudinal de la región montañosa central del estado de Veracruz. Las barras representan las medias.

En el caso de los organismos cultivados en Naolinco y Perote, las traqueidas resultaron ser más cortas que las de los organismos silvestres, No obstante, al comparar las traqueidas de los organismos cultivados en Perote con las de los organismos cultivados en Naolinco, resultó que las traqueidas en Perote fueron más cortas (1894 μ) que las de

Naolinco (1950.72 μ) ($F_{3, 4196} = 214.36, P = 0,0000$) en oposición a lo que ocurrió con los organismos silvestres (Fig. 3).

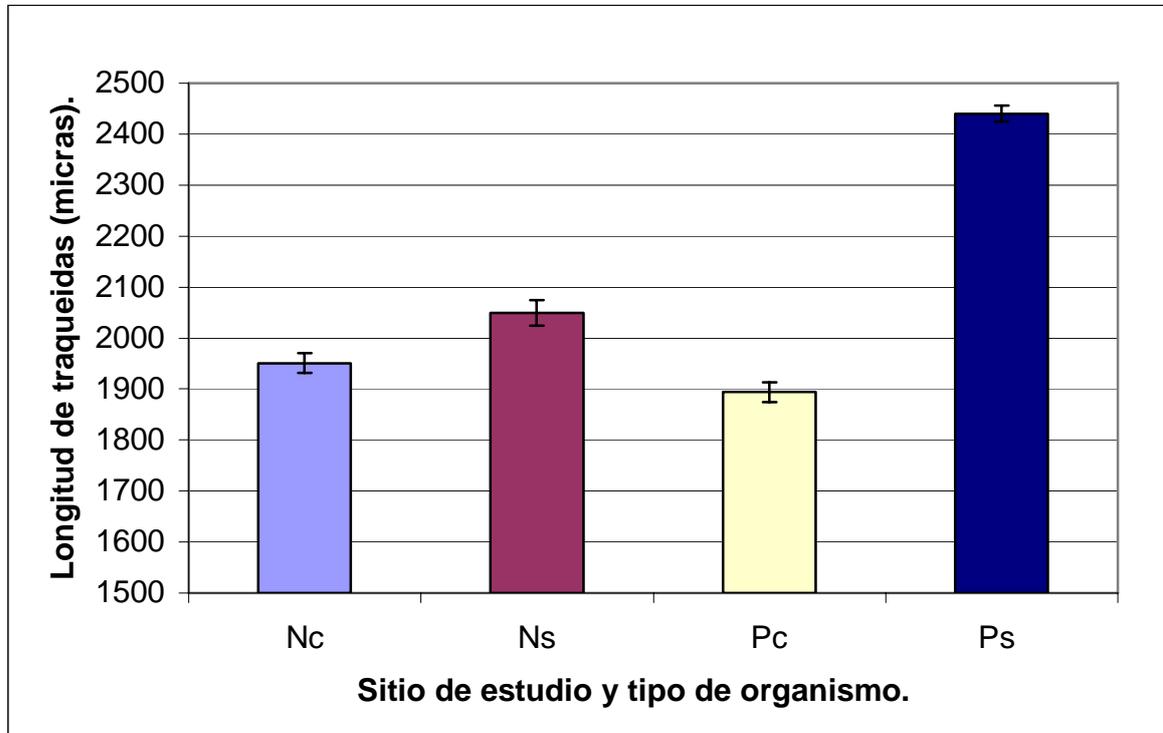


Figura 3. Longitud de traqueidas de organismos silvestres (s) y cultivados (c) de *Pinus patula* en Naolinco (N) y Perote (P) en el estado de Veracruz.

La densidad relativa de la madera fue similar en todos los sitios de estudio ($F_{4, 21} = 0.57; p = 0.6871$). No obstante, existe una tendencia en la que los organismos de Naolinco presentaron una mayor densidad, seguida de los organismos de Frijol Colorado, Xico, La Joya y Perote (Fig. 4).

Respecto a la densidad relativa de madera entre organismos silvestres o cultivados y el sitio de estudio, tampoco se encontraron diferencias significativas ($F_{3, 17} = 1.66, P = 0.2141$). Sin embargo, existe una tendencia en la que los organismos silvestres de Naolinco presentaron la mayor densidad seguidos de los organismos de Perote silvestres, Perote cultivados y Naolinco cultivados (Fig. 5).

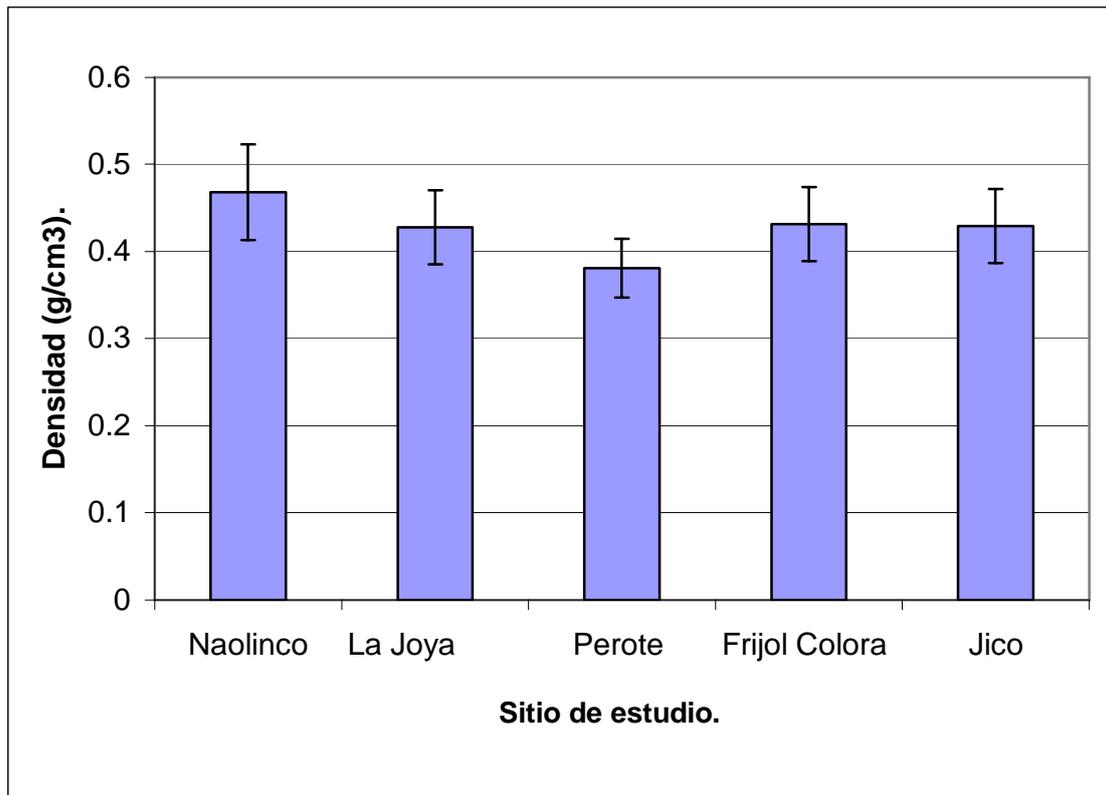


Figura 4. Densidad relativa de la madera de *Pinus patula* de organismos silvestres en un gradiente altitudinal de la región montañosa central del estado de Veracruz.

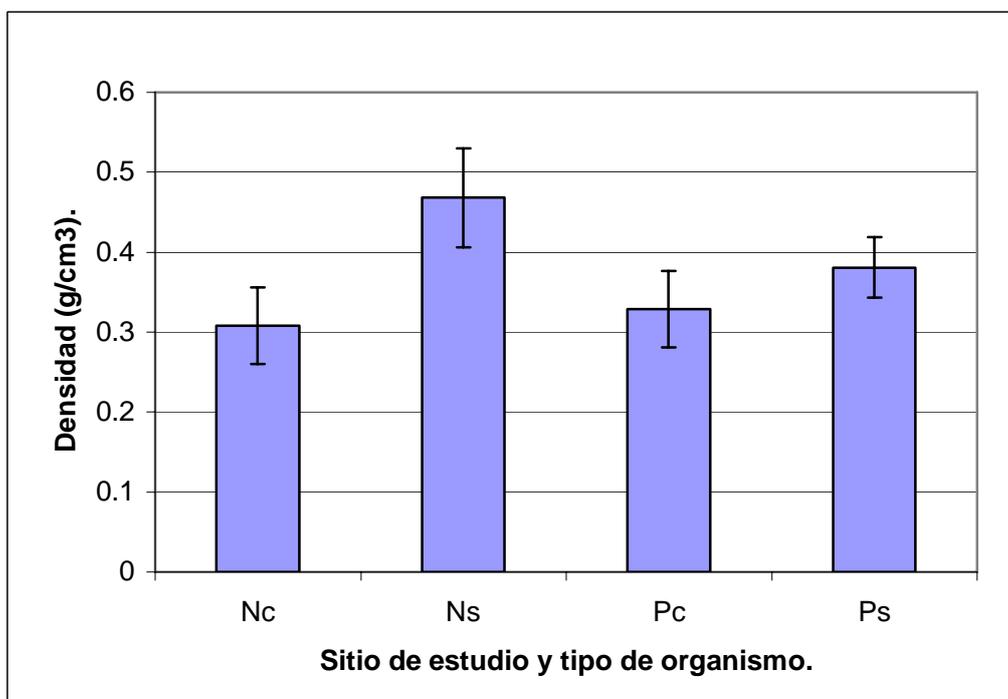


Figura 5. Densidad de la madera de organismos silvestres (s) y cultivados (c) de *Pinus patula* en Naolinco (N) y Perote (P) en el estado de Veracruz.

6.2 Datos e índices climáticos

Las temperaturas máximas (T_{MAX}) fueron significativamente diferentes entre todos los sitios ($F_{4, 5474} = 564.15$, $P = 0.0000$) al igual que la temperatura mínima (T_{MIN}) ($F_{4, 5475} = 1746.31$, $P = 0.0000$). En el caso de la temperatura media (T_{MEDIA}), se encontró que existen diferencias significativas entre todos los sitios ($F_{4, 5475} = 1215.17$, $P = 0.0000$) excepto en el caso de Frijol Colorado y Perote. Teniendo las temperaturas más bajas en Xico y las más altas en Naolinco (Fig. 6). mientras que la precipitación pluvial (Pp.) fue diferente en entre los sitios ($F_{4, 5475} = 65.33$, $P = 0,000$) excepto entre La Joya y Naolinco (Fig 7).

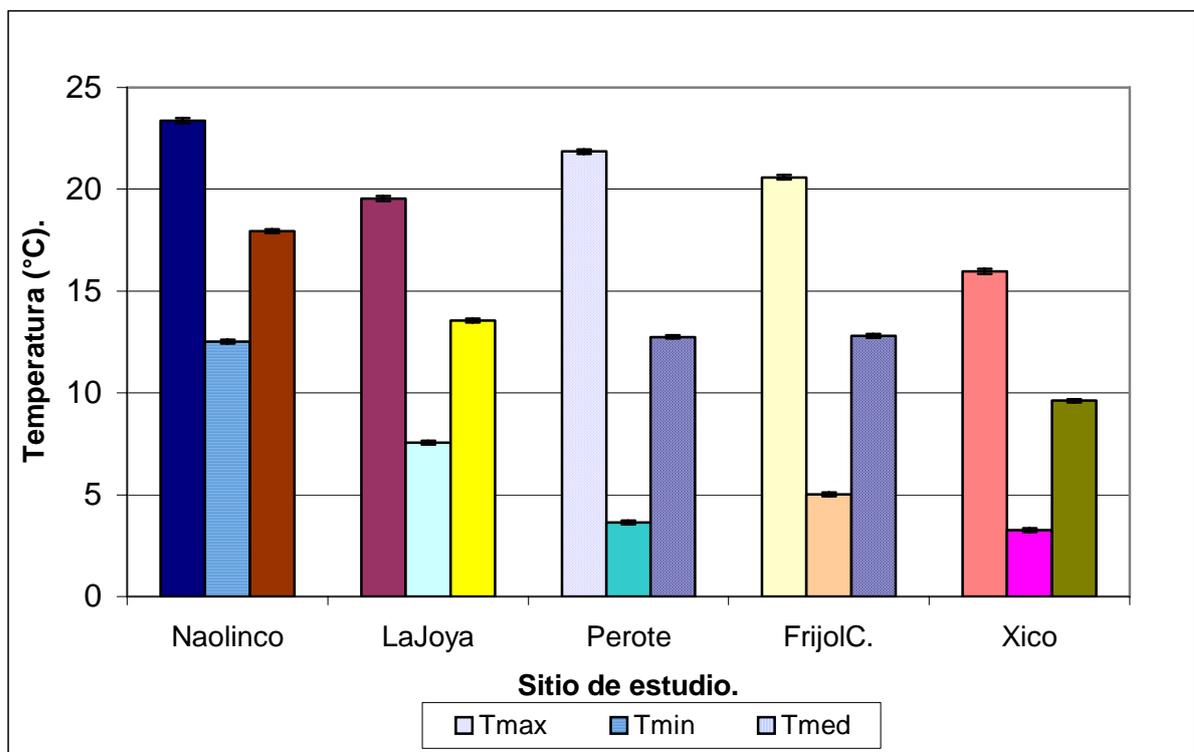


Figura 6. Promedio de las temperaturas máxima, mínima y media de los sitios de estudio.

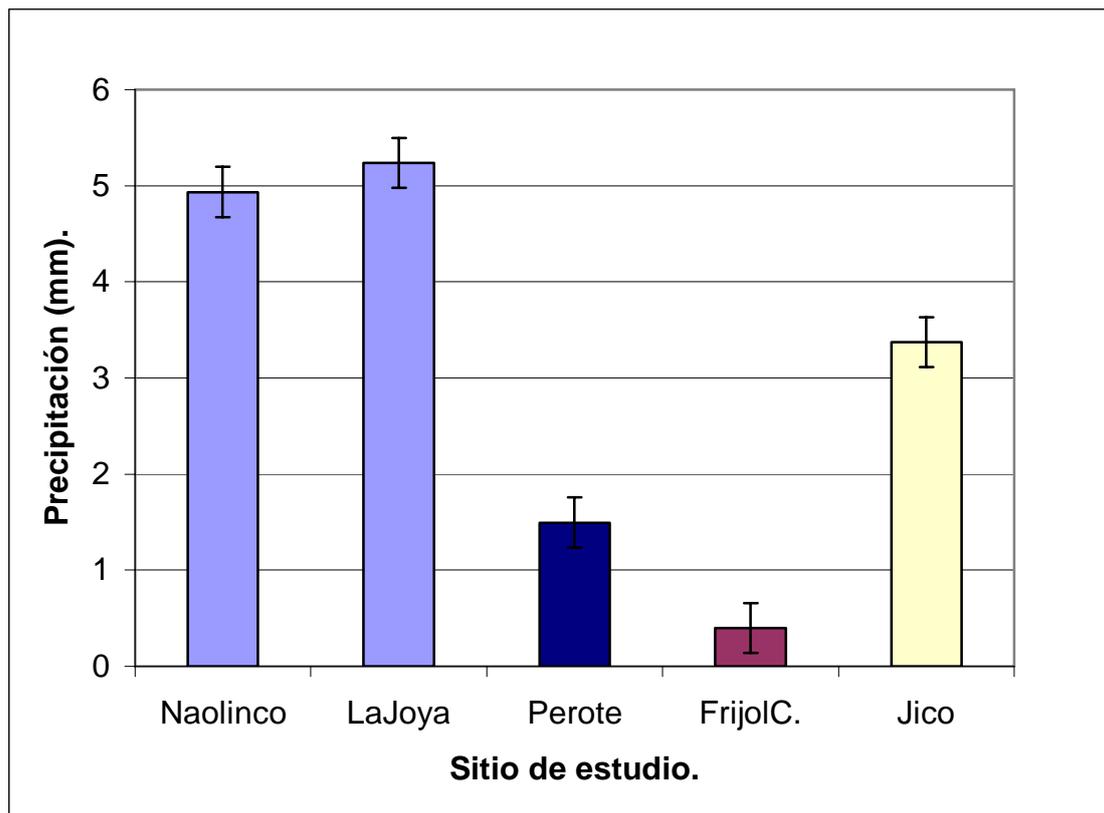


Figura 7. Promedio de la precipitación diaria en cada uno de los sitios estudiados en un perfil altitudinal del área central montañosa del estado de Veracruz.

En el caso del índice de Aridez, el análisis estadístico determinó que existen diferencias entre todos los sitios ($F_{4, 5475} = 63.70$, $P = 0.0000$) excepto entre Xico y Naolinco siendo estos homogéneos (Fig. 8). El índice de sequedad fue diferente en todos los sitios ($F_{4, 5475} = 66.13$, $P = 0.0000$) exceptuando el caso de la comparación de Xico y La Joya (Fig 9). El índice de Factor de precipitación presentó diferencias significativas entre todos los sitios ($F_{4, 5475} = 66.13$, $P = 0.000$) excepto el caso de Xico y La Joya (Fig. 10). El índice de factor de sequedad de Köppen presentó diferencias entre los sitios ($F_{4, 5475} = 63.92$, $P = 0.0000$) excepto Naolinco y Xico (Fig. 11). El índice de Ångström presentó diferencias significativas ($F_{4, 5475} = 66.13$, $P = 0.0000$) entre todos los sitios excepto entre Xico y La Joya (Fig. 12).

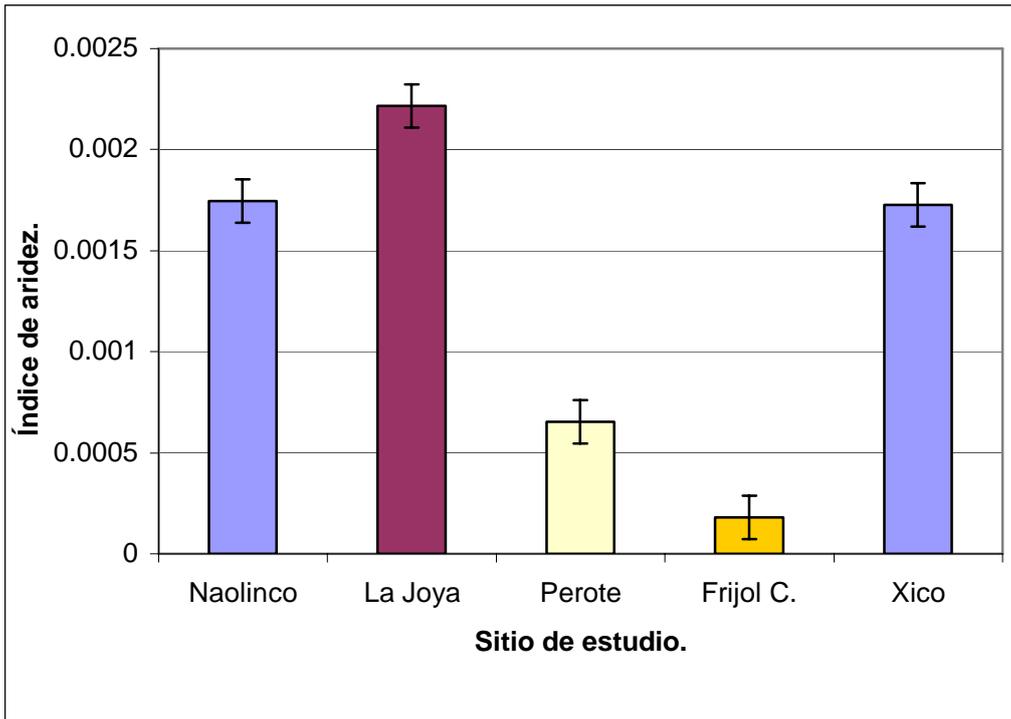


Figura 8. Promedio del índice de Aridez de los sitios de estudio.

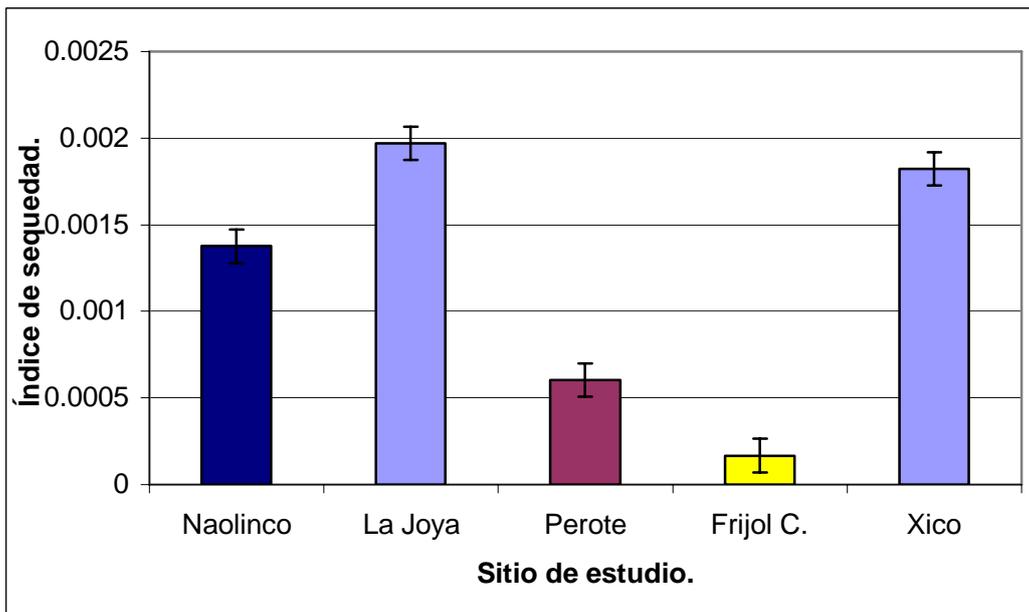


Figura 9. Promedio del índice de sequedad de los sitios de estudio.

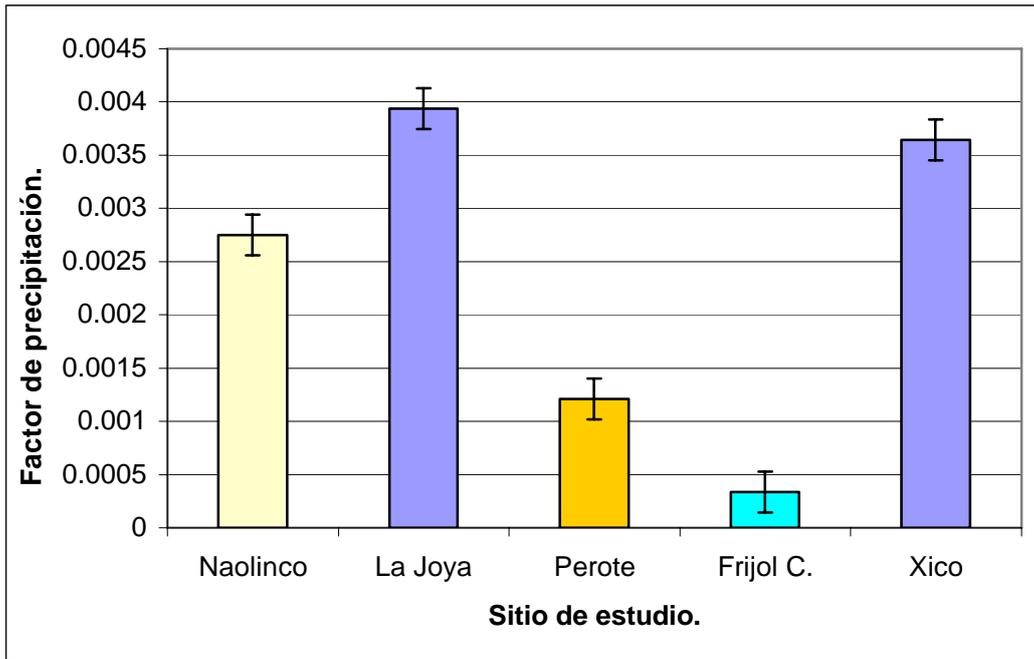


Figura 10. Promedio del Factor de precipitación de los sitios de estudio.

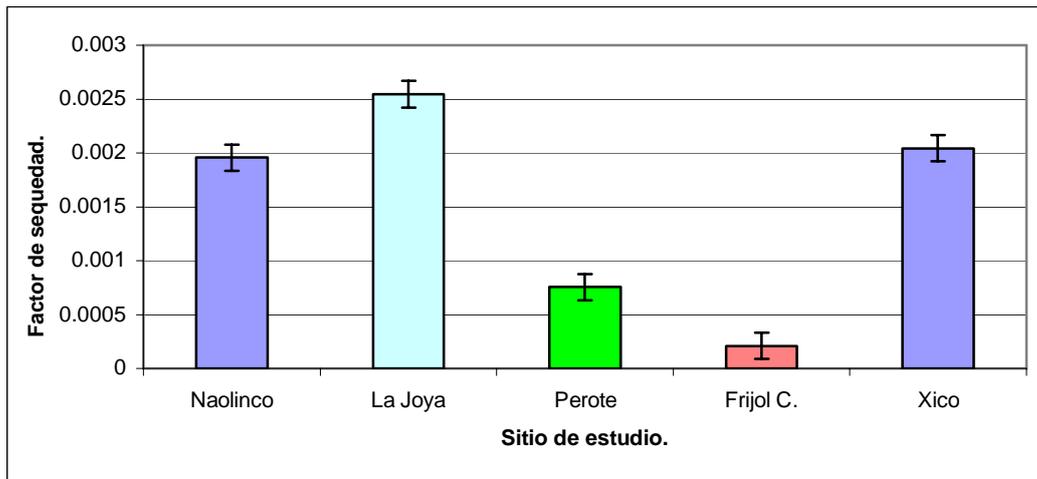


Figura 11. Promedio del índice de Factor de sequedad de los sitios de estudio.

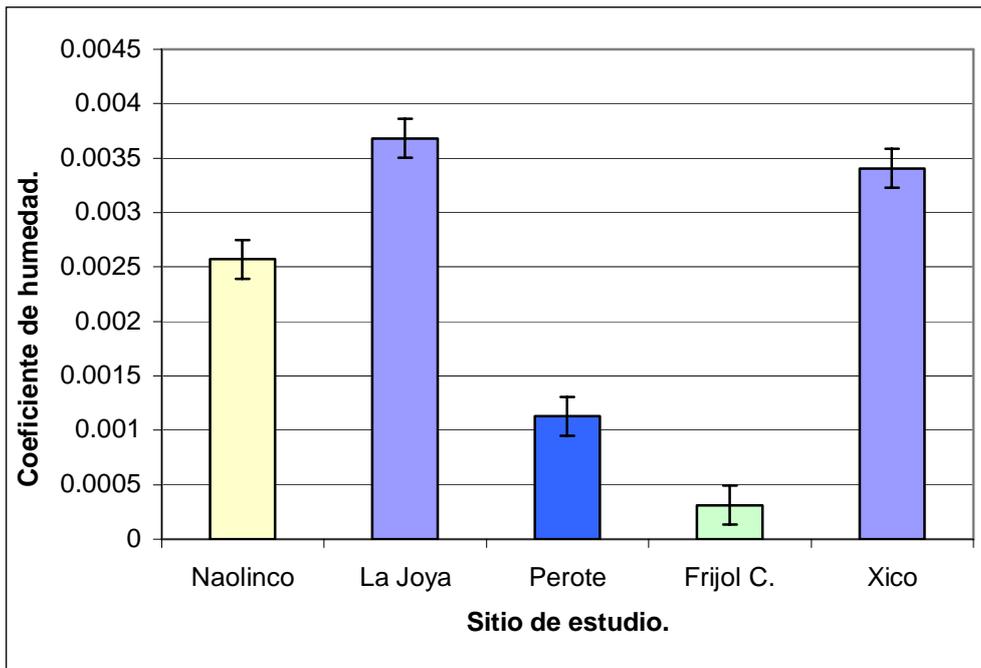


Figura 12. Promedio del índice de Coeficiente de humedad de los sitios de estudio.

En el caso de las horas frío, se encontraron diferencias significativas entre todos los sitios ($F_{4, 5475} = 669.89$, $P = 0.000$) (Fig. 13).

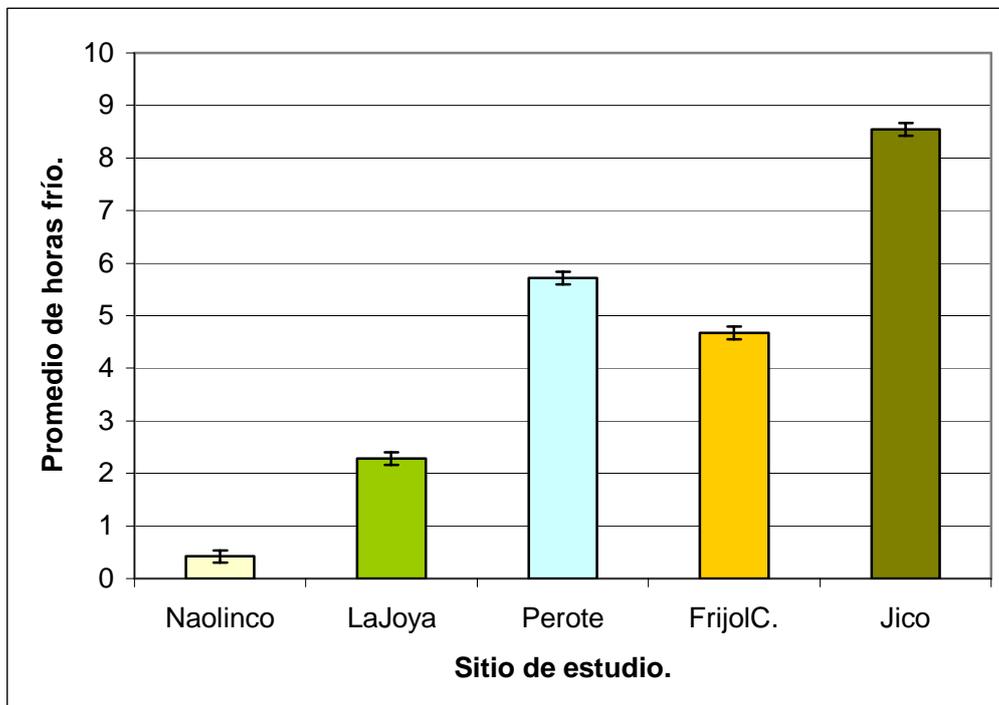


Figura 13. Promedio de las horas frío diarias de los sitios estudiados en un perfil altitudinal del área central montañosa del estado de Veracruz.

La matriz de correlación entre todas las variables e índices climáticos en cada uno de los sitios estudiados demostró una relación negativa entre casi todos los índices con las horas frío, excepto en Frijol Colorado donde las relaciones negativas solo se encontraron con T_{MAX} , T_{MIN} , T_{MEDIA} y precipitación. También se encontró una relación negativa entre las horas frío y T_{MIN} , seguido de T_{MEDIA} y T_{MAX} ; sin embargo, los índices climáticos se encontraron más relacionados con la precipitación (Tablas 5, 6, 7, 8 y 9) que con la temperatura.

Tabla 5. Matriz de correlación de las diversas variables atmosféricas e índices climáticos en Naolinco, Veracruz.

	T_{MAX}	T_{MIN}	T_{MEDIA}	Pp	De Aridez	Índice de sequedad	Factor de precipitación	Factor de sequedad	Coefficiente de humedad	Horas Frío
T_{MAX}	1,000									
T_{MIN}	0,851	1,000								
T_{MEDIA}	0,970	0,953	1,000							
Pp	0,359	0,649	0,507	1,000						
De Aridez	0,313	0,613	0,464	0,997	1,000					
Índice de sequedad	0,262	0,569	0,415	0,989	0,997	1,000				
Factor de precipitación	0,262	0,569	0,415	0,989	0,997	1,000	1,000			
Factor de sequedad	0,305	0,606	0,457	0,996	1,000	0,998	0,998	1,000		
Ángstrom	0,262	0,569	0,415	0,989	0,997	1,000	1,000	0,998	1,000	
Horas Frío	-0,545	-0,685	-0,629	-0,311	-0,277	-0,224	-0,224	-0,270	-0,224	1,000

Tabla 6. Matriz de correlación de las diversas variables atmosféricas e índices climáticos en Perote, Veracruz.

	T_{MAX}	T_{MIN}	T_{MEDIA}	Pp	De Aridez	Índice de sequedad	Factor de precipitación	Factor de sequedad	Coefficiente de humedad	Horas Frío
T_{MAX}	1,000									
T_{MIN}	0,475	1,000								
T_{MEDIA}	0,814	0,898	1,000							
Pp	-0,206	0,513	0,236	1,000						
De Aridez	-0,262	0,461	0,173	0,995	1,000					
Índice de sequedad	-0,334	0,384	0,087	0,973	0,991	1,000				
Factor de precipitación	-0,334	0,384	0,087	0,973	0,991	1,000	1,000			
Factor de sequedad	-0,273	0,450	0,160	0,993	1,000	0,993	0,993	1,000		
Ángstrom	-0,334	0,384	0,087	0,973	0,991	1,000	1,000	0,993	1,000	
Horas Frío	-0,554	-0,977	-0,922	-0,488	-0,428	-0,344	-0,344	-0,416	-0,344	1,000

Tabla 7. Matriz de correlación de las diversas variables atmosféricas e índices climáticos en Frijol Colorado, Veracruz.

	T _{MAX}	T _{MIN}	T _{MEDIA}	Pp	De Aridez	Índice de sequedad	Factor de precipitación	Factor de sequedad	Coefficiente de humedad	Horas Frío
T _{MAX}	1,000									
T _{MIN}	0,640	1,000								
T _{MEDIA}	0,883	0,926	1,000							
Pp	0,082	-0,025	0,025	1,000						
De Aridez	0,048	-0,081	-0,026	0,993	1,000					
Índice de sequedad	0,015	-0,129	-0,072	0,973	0,994	1,000				
Factor de precipitación	0,015	-0,129	-0,072	0,973	0,994	1,000	1,000			
Factor de sequedad	0,042	-0,090	-0,034	0,990	1,000	0,996	0,996	1,000		
Coefficiente de humedad	0,015	-0,129	-0,072	0,973	0,994	1,000	1,000	0,996	1,000	
Horas Frío	-0,678	-0,982	-0,934	0,016	0,075	0,125	0,125	0,084	0,125	1,000

Tabla 8. Matriz de correlación de las diversas variables atmosféricas e índices climáticos en La Joya, Veracruz.

	T _{MAX}	T _{MIN}	T _{MEDIA}	Pp	De Aridez	Índice de sequedad	Factor de precipitación	Factor de sequedad	Coefficiente de humedad	Horas Frío
T _{MAX}	1,000									
T _{MIN}	0,491	1,000								
T _{MEDIA}	0,816	0,904	1,000							
Pp	0,041	0,639	0,444	1,000						
De Aridez	0,008	0,613	0,411	0,999	1,000					
Índice de sequedad	-0,036	0,566	0,359	0,991	0,997	1,000				
Factor de precipitación	-0,036	0,566	0,359	0,991	0,997	1,000	1,000			
Factor de sequedad	0,001	0,607	0,404	0,998	1,000	0,997	0,997	1,000		
Ángstrom	-0,036	0,566	0,359	0,991	0,997	1,000	1,000	0,997	1,000	
Horas Frío	-0,483	-0,958	-0,873	-0,563	-0,538	-0,488	-0,488	-0,532	-0,488	1,000

Tabla 9. Matriz de correlación de las diversas variables atmosféricas e índices climáticos en Xico, Veracruz.

	T _{MAX}	T _{MIN}	T _{MEDIA}	Pp	De Aridez	Índice de sequedad	Factor de precipitación	Factor de sequedad	Coefficiente de humedad	Horas Frío
T _{MAX}	1,000									
T _{MIN}	0,380	1,000								
T _{MEDIA}	0,830	0,831	1,000							
Pp	-0,054	0,564	0,307	1,000						
De Aridez	-0,096	0,536	0,265	0,998	1,000					
Índice de sequedad	-0,163	0,474	0,188	0,986	0,994	1,000				
Factor de precipitación	-0,163	0,474	0,188	0,986	0,994	1,000	1,000			
Factor de sequedad	-0,105	0,529	0,255	0,997	1,000	0,995	0,995	1,000		
Ángstrom	-0,163	0,474	0,188	0,986	0,994	1,000	1,000	0,995	1,000	
Horas Frío	-0,654	-0,924	-0,950	-0,491	-0,454	-0,381	-0,381	-0,445	-0,381	1,000

6.3 Regresiones simples de la longitud de traqueidas y densidad relativa de madera de los organismos silvestres.

Los análisis de regresiones simples entre la longitud de las traqueidas (LT) y las variables e índices climáticos a través del año, demostraron que los coeficientes de determinación (r^2) fueron diferentes en los meses estudiados. Para los coeficientes de los índices se presentaron picos de comportamiento en mayo y septiembre, siendo mayores para los del mes de mayo. T_{MAX} afectó a LT principalmente en junio, agosto y septiembre, y la temperatura promedio tuvo un comportamiento estable y alto casi a lo largo de todo el año, sin embargo, el efecto mayor en la longitud de traqueidas fue el producido por T_{MIN} obteniendo representatividad en todos los meses y en el promedio anual ($P < .05$), el efecto del índice horas frío obtuvo coeficientes de determinación mayores de 0.8 a través del año, siendo representativo para el mes de Enero ($P < .05$), La precipitación afectó negativamente a LT registrando los valores más altos en mayo (0.72812) y en septiembre (0.673909) (Figura 14).

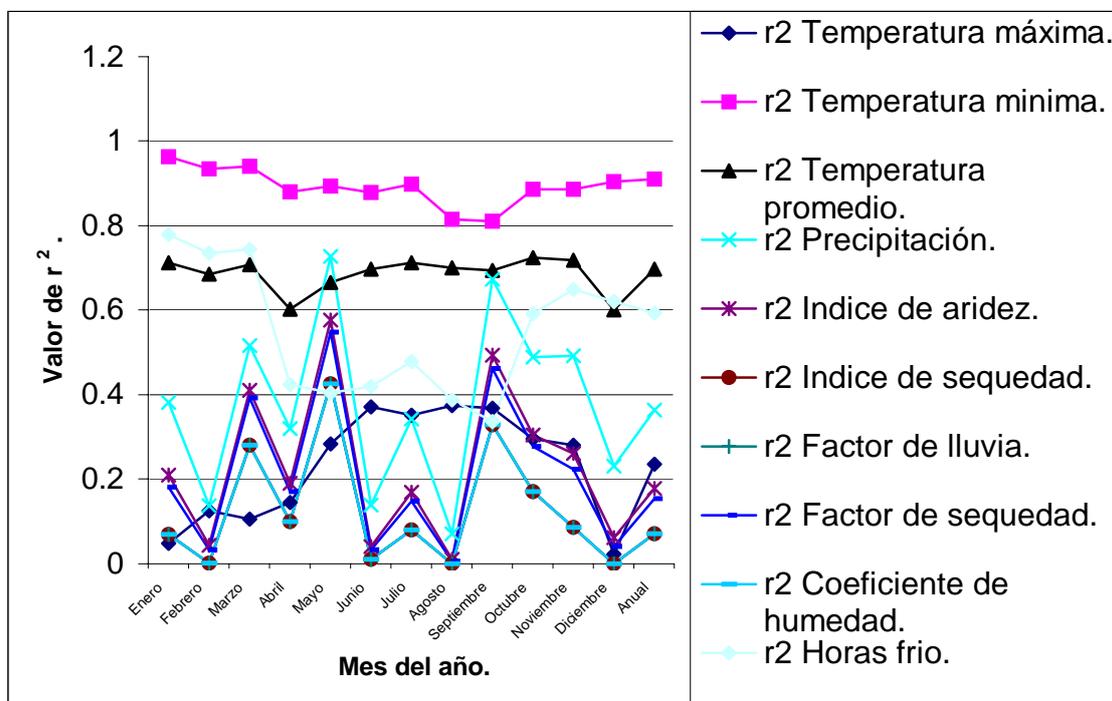


Figura 14. El valor de la r^2 de las regresiones simples de longitud de traqueidas de la madera en función de las diferentes variables e índices climáticos a través del año y promedio anual.

En el caso de las regresiones lineales construidas para determinar el efecto de las variables e índices climáticos en la densidad relativa (DM) fue muy similar a lo encontrado para LT, siendo T_{MIN} la que presentó el mayor coeficiente de determinación en casi todos los casos; sin embargo solamente tuvo representatividad el encontrado para la temperatura mínima de Enero ($P=0.0341$ $r^2=0.8207$). En el caso de las horas frío, la mayor r^2 también se encontró en el mes de enero ($P=0.1891$ $r^2=0.4885$), pero también se detectaron dos picos de comportamiento en el incremento del coeficiente de determinación, uno en mayo y el otro en septiembre. La precipitación también presentó un efecto mayor en mayo y septiembre y también los índices climáticos. Cabe destacar, que el comportamiento de T_{MEDIA} y T_{MAX} en DM fue similar en los diferentes meses de estudio (Figura 15).

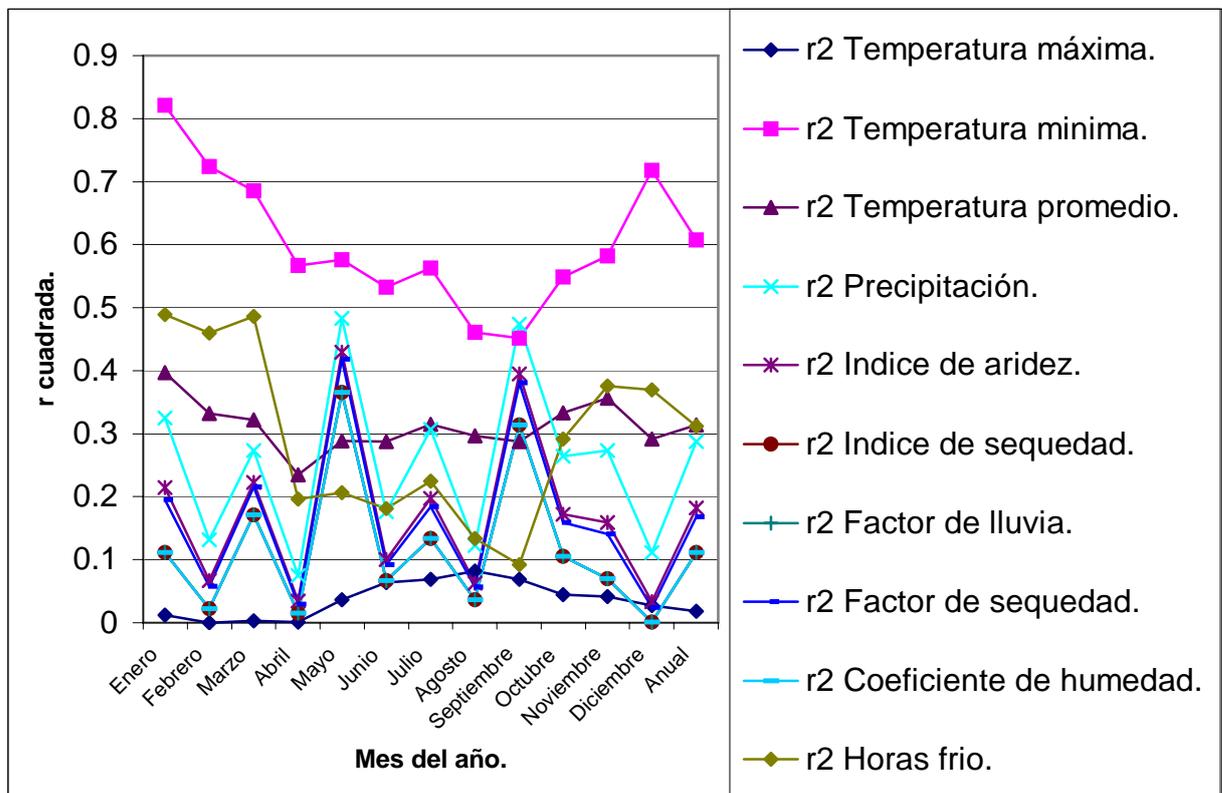


Figura 15. El valor de la r^2 de las regresiones simples de la densidad relativa de la madera en función de las diferentes variables e índices climáticos a través del año y promedio anual.

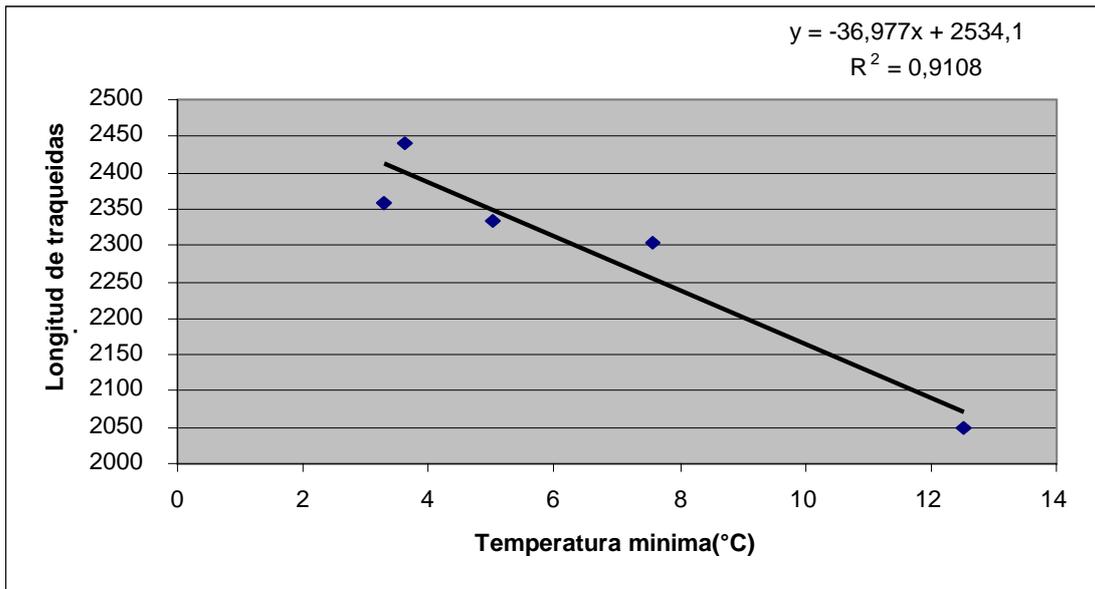


Figura 16. Temperatura mínima anual vs. Longitud de traqueidas.

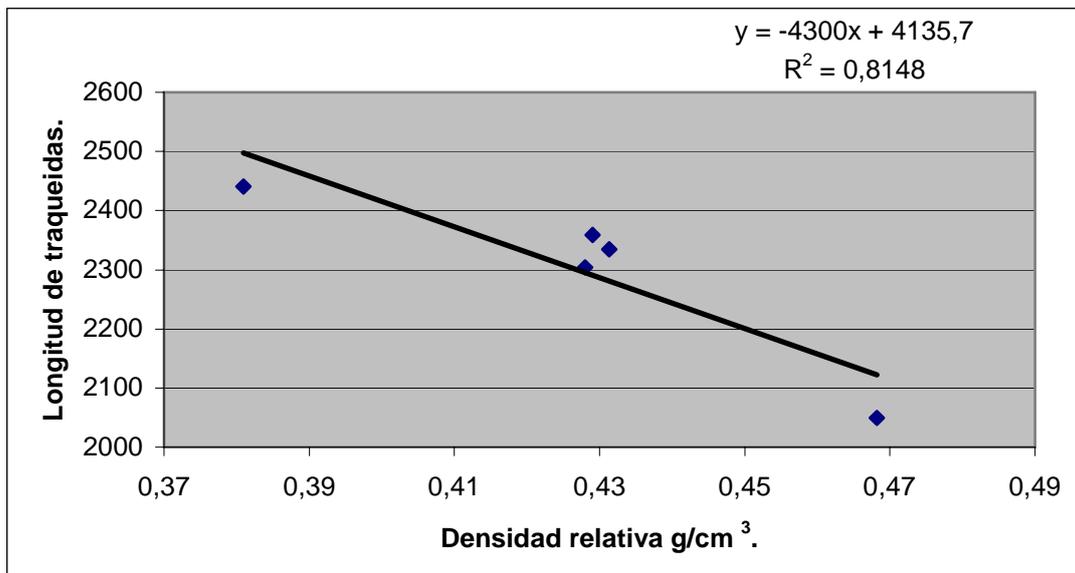


Figura 17. Densidad relativa vs. Longitud de traqueidas.

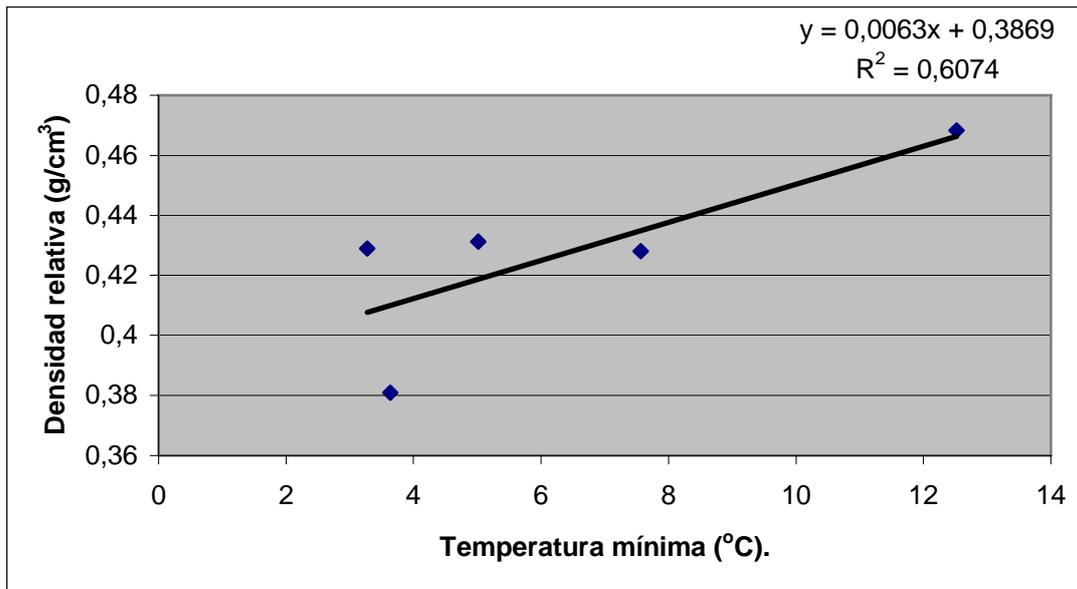


Figura 18. Temperatura mínima anual vs. Densidad relativa.

Se graficaron la temperatura mínima anual vs. la longitud de traqueidas, (Fig. 16) la densidad relativa vs. longitud de traqueidas (Fig. 17) y finalmente la temperatura mínima anual vs. densidad relativa (Fig. 18). En la Fig. 16 se observa un comportamiento que indica que entre mas baja es la temperatura mínima, la longitud de traqueidas aumenta, en la Fig. 17 la densidad relativa y la longitud de traqueidas tienen un comportamiento inverso (a mas densidad relativa menor longitud de traqueidas), mientras que en la Fig. 18 se observa a temperatura mínima menor se obtiene menor densidad relativa.

7. Discusión

El estudio de los recursos forestales debe tener distintos enfoques en los aspectos que son inherentes en el desarrollo de estos, tales como los aspectos sociales, productivos económicos y ecológicos (Eguiluz, 1982; Robles de Benito, 1982; Valencia, 1994; Hannrup & Ekberg, 1998; Ortega, 1999; Ceulemans, 2002; Berlik, 2002). Esto es importante en México, ya que posee un gran potencial forestal (Eguiluz *op. cit.*) cuyo desarrollo tiene impacto en las cadenas productivas (Castañeda, 1990), y otros aspectos como los relacionados con los servicios ambientales del bosque (Aguilar & Villasalas, 1995).

El aspecto productivo forestal toma distintos matices, por una parte se afirma que las mejoras se pueden enfocar en la genética de los organismos (Hannrup & Ekberg, 1998), ya que la información tecnológica señala que las características estudiadas como la densidad relativa de la madera y la longitud de las traqueidas son suficientemente heredables, (Zobel & Talbert, 1988), y que tienen importancia en la industria ya que la estructura celular va a afectar las propiedades mecánicas sobre el proceso de fabricación del papel y el producto final (Kollman, 1959; Ifju y Kennedy, 1962; Larios, 1979; Harris 1983; Hernández, 1985; Fuentes, 1987; Zhang, 1994; Niklas 1997; Wang & Aitken, 2001; Ceulemans, 2002; Ivkovich *et al.*, 2002; Shepherd *et al.*, 2003).

Sin embargo, en los antecedentes sobre la longitud de traqueidas, las conclusiones apuntan a un conjunto de resultados que son diferentes entre si, ya que la fuente de variación de las longitudes se encuentra con relación a su posición en la medula o corteza, entre especie, entre árboles de la misma especie, respecto a la edad del árbol, su posición respecto a la base del árbol o a la copa, e inclusive respecto al muestreo en el campo (posición geográfica) y variación con origen genético (Larios, 1979; Hernández, 1987; Ferial, 1989; Vaca, 1992; Bonilla, 1993; Calixto, 1996).

Cabe destacar que en ninguno de estos estudios se realizó un análisis climático de mayor profundidad, ya que se limitan a mencionar los factores generales de temperatura promedio y precipitación anuales; y solamente en algunos casos se menciona los aspectos climáticos (Calixto, 1996; Ortega 1999), en este sentido y tomando específicamente el estudio de Bonilla (1993) se contempla el cambio de la longitud de

las traqueidas a lo largo del Eje Volcánico transversal y por ello, si consideramos que existe un cambio geográfico de este a oeste, podemos inferir que existe también un cambio en las condiciones climáticas que prevalecen en los sitios de estudio; sin embargo el estudio de Bonilla también adolece de una investigación climática más completa.

En el caso de la densidad relativa de la madera, se ha indicado que es una característica que es dependiente de otros elementos como lo son las dimensiones celulares, la proporción de madera temprana y tardía, el grosor de la pared celular y los tipos y cantidad de extractivos (Zobel & Talbert, 1988) se ha asociado también con la proporción de follaje maduro y follaje nuevo (Johnson *et al*, 2003) y con tasas altas de crecimiento que tienen una relación con un decremento de la densidad y calidad de la madera (Ceulemans, 2002; Ivkovich *et al*, 2002; Makinen *et al*, 2002) ya que aumenta la proporción de la madera temprana, disminuyendo la densidad de la misma (Makinen *et al op cit.*) otros estudios concluyen indicando una heredabilidad a nivel individual, fuentes de variación alta entre árboles, diferencias dentro de la misma rodaja de análisis, por la presencia de extractivos, aumento de la densidad con la edad, e inclusive sin cambios respecto a sitios (Larios, 1979; Vaca, 1992; Valencia, 1994; Calixto, 1996; Hernández, 1996; Ortega, 1999) y solamente en un estudio obtenido en Nueva Zelanda con *Pinus radiata* la temperatura máxima diaria se relacionó con esta característica (Cown *et al*; 1991 citado en Shepherd *et al*, 2003). Sin embargo en general en todos los antecedentes, los autores hacen notar que no toman el clima y sus elementos en cuenta.

De esta manera, encontramos que las ideas que defienden el manejo de la genética son justificadas en la visión de la producción forestal ya que si el clima tuviera un gran peso en estas características tecnológicas ¿qué objeto tendría realizar una mejora que va a cambiar respecto al sitio de producción?

Esto se contrasta con otras ideas en las cuales el clima influye en los organismos en su distribución y abundancia (Brinkley, 1990; Francis & Curie, 2003) y que los cambios en temperatura, precipitación y concentraciones de gases como el oxígeno, nitrógeno, ozono y dióxido de carbono pueden tener efectos fisiológicos en el crecimiento de los

bosques (Brinkley, 1990; Hymus *et al.* 1999; Masle, 2000; Raz & Koornneef, 2001; Taylor *et al.*, 2003; Van Dongen *et al.* 2003; Wager & Baker; 2003).

El crecimiento es el producto de un conjunto de factores que interactúan entre sí y estará limitado por los factores ambientales (Bidwell 1983; Liebig, 1843), relacionándose a su vez con los cambios hormonales resultado de la influencia del ambiente a lo largo de las etapas de crecimiento (Little & Pharis, 1995) dando como resultado el crecimiento de los árboles y desarrollo del xilema secundario (o madera). El xilema secundario, a su vez se divide en madera de primavera y madera de verano (o madera temprana y madera tardía) (Weier *et al.*, 1980; Bidwell, 1983; Esau, 1987), resultado del tipo celular, que son respectivamente las traqueidas de madera temprana y de madera tardía, y que morfológicamente son diferentes entre si (Esau, 1987).

¿Si la fuente de variación esta asociada principalmente a un factor genético; entonces esto significa que el ambiente no tiene una influencia real sobre los individuos? ¿Es válido un enfoque de este tipo?

Tanto las traqueidas como la densidad relativa de la madera, se han señalado como características heredables (Zobel & Talbert, 1988), no obstante, también se ha señalado de diversas maneras que es el ambiente que rodea a los organismos el que moldea las características propias de los individuos (Lal, 1992). En diversas investigaciones se ha obtenido que existe una diversidad amplia en cuanto a estas dos características, ya sea entre individuos, localidades o especies; sin embargo, en estos estudios ha faltado un enfoque más completo en cuanto al clima y sus efectos, ya que estos estudios se limitan a mencionar las características climáticas generales de los sitios, sin abundar mucho en ellos, ya que la bibliografía da por sentado que estos factores no son relevantes para la heredabilidad (Zobel & Talbert, 1988); no obstante, que encontramos que la relación que existe entre la madera temprana, la madera tardía y el crecimiento es la misma que existe en cuanto al cambio de los factores climáticos a través del año (Little & Pharis, 1995).

Es en este punto, cuando podemos recordar las definiciones de variación y fenotipo; en la primera la variación es el producto de la influencia de factores ambientales y genéticos que da como resultado un conjunto de diferencias morfológicas, anatómicas,

y/o fisiológicas entre individuos de la misma especie (Brauer, 1986; Padilla, 1987), y la segunda como “las características morfológicas, fisiológicas y conductuales de un individuo o población” (Barahona & Piñero, 1994), por lo que entonces no es posible colocar individuos de un ambiente a otro sin que influya en las características estudiadas (Nienstaedt, 1989).

Así, si recordamos que las características de la densidad de la madera se asocian con la proporción de la madera tardía, el grosor de la pared celular, las dimensiones celulares y la cantidad y tipo de extractivos (Zobel & Talbert, 1988), un aumento en la estación de crecimiento dará entonces como resultado un aumento en la cantidad de fotosintatos, obteniendo como resultado un aumento en la densidad. Un cambio general en el clima de un sitio a otro, también cambiará las características intrínsecas de los individuos, esto se ve apoyado por los estudios que asocian la cantidad de follaje maduro y follaje juvenil con la densidad; un clima favorable entonces podría favorecer el crecimiento; lo que entonces se asocia a un aumento del follaje nuevo que a su vez, incrementa la capacidad fotosintética y los productos del organismo.

En este sentido se puede citar textualmente “Una tendencia que se observa con frecuencia es que el peso específico dentro del área de distribución de una especie es menor cuando ésta se interna tierra adentro alejándose de la costa o hacia latitudes o altitudes mayores. Estas tendencias son válidas para muchas especies de pino, como también para otras coníferas y latifoliadas.”, “Estas diferencias geográficas del peso específico de la madera pueden ser relativamente grandes y son importantes para las empresas que utilizan la madera. Dichas diferencias por lo general son inducidas por el ambiente y no son muy heredables “(Zobel & Talbert, 1988).

Aquí es cuando encontramos una gran discordancia en el manejo forestal, en un principio se menciona que las características de la madera son “suficientemente heredables”, pero también se menciona que las diferencias de la madera en la distribución geográfica de la especie son “inducidas por el ambiente y no son muy heredables” (Zobel & Talbert, 1988), esto significa en gran medida, que el ambiente en realidad esta ejerciendo una gran influencia para las características de la madera, si los árboles se internan tierra adentro se encontraran lejos de las corrientes de aire que pudieran llevar la precipitación, y si se encuentran en latitudes ó altitudes mayores, la

temperatura se vera en consecuencia también afectada, entonces, ¿hasta que punto alguna característica es “suficientemente heredable” y en cual se tiene que tomar con mucho mas peso la influencia del ambiente?

Si se observan dos sitios de estudio con resultados similares como lo es Frijol Colorado y Xico, encontramos que existen diferencias en los factores, las temperaturas máximas promedio fueron 20.6 y 16.0, las temperaturas mínimas promedio 5.0 y 3.3; y las temperaturas medias promedio fueron 12.8 y 9.2, el promedio de las horas frío fueron 4.66 y 8.54 y la precipitación fue de 0.39 y 3.37 mm promedio diario. Esto significa que guiados exclusivamente por factores como la temperatura promedio y la precipitación, tal vez no esperaríamos un resultado similar ya que Frijol Colorado es considerablemente más seco que Xico; sin embargo, esto se ve compensado tal vez por las horas frío, y la precipitación, las cuales en Xico son de casi el doble que en Frijol Colorado, las características de los sitios son diferentes y se obtiene un resultado similar porque existen otros elementos que van más allá de la temperatura media y la precipitación; lo cual si lo hubiéramos determinado con un esquema clásico forestal supondríamos que el factor genético es similar en los dos sitios, o que no se encuentra ningún factor de variación entre estos sitios de estudio.

Esto nos lleva a suponer que las diferencias en el microclima podrían ser más relevantes que el clima en si mismo (Lal, 1992) y llevándonos a pensar en un conjunto de factores, como los tomados en cuenta en el presente trabajo, afectan el resultado general obtenido.

Haciendo énfasis en este punto se puede discutir los resultados de las regresiones simples, ya que del análisis detallado mensual de cada uno de los factores e índices, solamente uno de ellos obtuvo resultados significativos (temperatura mínima para todos los meses y promedio de temperatura mínima anual para la longitud de traqueidas y temperatura mínima de Enero para la densidad relativa) mientras que los otros restantes no obtienen en su mayoría resultados que nos indicaran su posible influencia, otro índice que obtiene un resultado significativo es el de las horas frío en la longitud de traqueidas pero restringido al mes de Enero y este índice es muy dependiente de la temperatura mínima, cabe también destacar el comportamiento de la precipitación el cual no es significativo en ninguno de los resultados, pero que obtiene picos de

comportamiento en mayo y septiembre y aunque también los índices tienen este comportamiento, hay que recordar que estos se derivan de fórmulas que incluyen a la precipitación, por lo que la precipitación estaría influyendo en su comportamiento, esto hace notar que en una gran mayoría de resultados no se está obteniendo una respuesta, pero en uno de ellos la respuesta es muy significativa, y es un factor que realmente no se toma en cuenta para los estudios.

La relación encontrada en el presente estudio indica que las propiedades de la densidad de la madera y la longitud de las traqueidas fueron inversas, es decir que la densidad aumentó cuando la longitud disminuyó y viceversa. Esto es más visible en las gráficas en donde se observó un comportamiento de “espejo” y su relación pareciera estar mejor reflejada en el texto de Zobel & Talbert (1988), el cual refiriéndose al peso específico y su relación con los tamaños celulares se cita a continuación: “Ocasionalmente, los árboles que en otros aspectos son similares, tienen paredes celulares de esencialmente el mismo grosor, pero células de diferente tamaño. Cuando esto ocurre, el árbol con células pequeñas tiene el mayor peso específico”.

Cabe destacar que el elemento climático principal en este estudio fue el de la temperatura mínima, ya que fue el factor que en las regresiones simples de la longitud de traqueidas fue significativo para todos los meses y en el promedio anual, y en la densidad relativa para la temperatura mínima de Enero, probablemente estos resultados sean similares con el estudio desarrollado en *Pinus radiata* que asocia la temperatura máxima con la densidad de la madera (Cown, 1991 citado en Shepherd 2003); la manera en como se puede relacionar es la siguiente:

La temperatura mínima se relacionó con la longitud de traqueidas de una manera negativa, esto significa que en una temperatura más baja la longitud de traqueidas es mayor (Fig. 16), de acuerdo a Zobel & Talbert (1988) el peso específico, se relacionó de una manera inversa con la longitud de traqueidas, entre más grandes son las células menor es la densidad, (Fig. 17) por lo que al momento de que la temperatura mínima fuera mayor, la longitud de traqueidas disminuiría aumentando la densidad. (Ver figura 18). Este tipo de inferencia se realiza de esta manera ya que en nuestro estudio las muestras para densidad de organismos silvestres son pocas ($n = 26$) lo que no permitió al modelo relacionarse de una manera adecuada con los elementos climáticos e índices

propuestos en este estudio; sin embargo, se puede observar en la grafica que el coeficiente de determinación (r^2) de la relación entre densidad relativa y la temperatura mínima aunque no es significativa para la mayoría de los meses, es la que explica de mejor manera la longitud de las traqueidas.

Respecto a los análisis de los organismos cultivados, cabe destacar que para la longitud de traqueidas los organismos silvestres fueron los que presentaron la mayor longitud de traqueidas en ambos sitios y también presentaron las mayores diferencias. El efecto de la disminución de la longitud de traqueidas en los organismos cultivados de Perote y el aumento de las de Naolinco, podría indicar que los sitios semilleros originales tal vez eran diferentes en cuanto a su clima, y aunque el desempeño es similar entre ellos no es comparable con los organismos silvestres que probablemente estarían más adaptados. Respecto a la densidad de la madera se siguió presentando el efecto de “espejo” anteriormente mencionado, y que también se puede asociar con las premisas de Zobel y Talbert (1988) de la relación de las dimensiones celulares y el peso específico.

Finalmente no es posible afirmar ninguna relación climática entre los organismos cultivados, debido a que se hubiera requerido al menos de un tercer sitio de estudio en el gradiente altitudinal para llevar a cabo un mejor análisis de correlación válido y detallado.

7.1 Comparación del presente trabajo con los de los antecedentes.

El trabajo aquí desarrollado comparado con otros trabajos (Tabla 1 de longitudes de traqueidas) está basado, de primera intención, en una comparación de organismos silvestres y cultivados y esto difiere en algunos trabajos como el desarrollado en *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* (Larios, 1979) *Pinus cembroides* Zucc. (Vaca, 1992) *Pinus herrerae* Martínez (Calixto 1996) *Pinus patula* Schltldl & Cham (Ortega 1999). Esto en las primeras tres por las especies que se manejan y por el tipo de organismo y el tratamiento previo en suelos y manejo forestal como lo son los aclareos, además de los posibles mejoramientos genéticos a los que estén sujetos.

En otro caso, el estudio desarrollado en *Pinus hartwegii* y *Abies religiosa* (Larios *op cit*) las altitudes a las que se desarrolla este trabajo son muy elevadas (3680 a 3080 m snm)

y no se comparan con las de nuestro estudio, además de los inconvenientes de comparación entre especies y de que las longitudes obtenidas son también muy elevadas (3620 y 3760 μm), lo cual podría asociarse más a las especies; además respecto al antecedente de información climática solo se mencionan la precipitación anual con las cotas de alta y baja precipitación junto con las temperaturas medias anuales las máximas y mínimas alcanzadas en solo un mes determinado. En el caso del estudio desarrollado en *Pinus cembroides* Zucc. (Vaca 1992), sin tomar en cuenta el inconveniente de la especie, la longitud promedio es equiparable a nuestro estudio (2190 μm); sin embargo, no existe mucha definición sobre los sitios de estudio y se limita a situarlo entre los 1730 y 2000 m snm, el antecedente climático solo se relaciona con el análisis de la precipitación invernal y la limitante de los meses fríos (oscilación entre 3 y 18 °C) además del inconveniente del sitio de estudio ubicado en una unidad de administración forestal. En la investigación desarrollada por Calixto (1996) en *Pinus herrerae* Martínez, encontró que existen diferencias en cuanto a los promedios obtenidos los cuales son mucho más altos que los de nuestro estudio (3957, 4426 y 4418 μm). En este caso se trata de dar una ubicación mucho más exacta del sitio de estudio, aunque nuevamente no se hace un análisis climático preciso y solo se mencionan las precipitaciones y las temperaturas medias anuales.

El trabajo reportado por Hernández (1987) podría ser similar al desarrollado en un gradiente altitudinal; y aunque en un punto toca a *Pinus patula* este corresponde a la variedad *longipedunculata* que registró una longitud de 3210 μm , además este trabajo se llevó a cabo sin realizar un análisis climático limitándose a mencionar la temperatura media anual y la precipitación. Esta situación es similar en el trabajo desarrollado por Feria (1989) ya que toma distintas especies en distintas altitudes, pero no hay referencias de las temperaturas medias o la precipitación media anual. De estos dos estudios se concluye que la variabilidad de la longitud de traqueidas está mucho más asociada con los individuos que con las diferentes especies, sin embargo cabe destacar que el tomar a diferentes especies en diferentes puntos geográficos no sería comparable puesto que no reflejarían la comparación de la misma especie en distintos puntos y sus conclusiones solamente serían de importancia en nuestro estudio debido a que señala la gran variabilidad de esta característica. Finalmente el trabajo obtenido por Bonilla (1993) en *Pinus hartwegii* podría arrojar un resultado muy relacionado con nuestro

trabajo, ya que menciona que existe un patrón de variación discontinuo entre localidades y un aumento del este al oeste con una variación entre individuos en localidades y entre localidades. Este trabajo aunque no menciona ningún factor climático, nos podría dejar ver la posibilidad del cambio del clima entre sus distintos puntos de muestreo.

Desde otro punto de vista, en algunos de estos antecedentes se obtienen diferentes conclusiones ya sea por el cambio de la longitud de traqueidas vinculado con su posición sagital (corteza – medula), la edad y posición en el árbol (corteza - medula y base-copa) por lo que no serian en este sentido, comparables con nuestro trabajo; no obstante, otras conclusiones arrojan dos puntos contradictorios y que podrían estar muy relacionados con nuestro estudio, mencionando primeramente la ausencia de diferencias entre sitios y mayor variabilidad entre árboles asociado con la genética y poco relacionado con los factores ambientales; y en otro caso asociando el 80 % de la fuente de variación con el sitio (Larios *op cit*; Vaca *op cit*; Calixto *op cit*; Ortega *op cit*).

Respecto a los estudios de densidad relativa o peso específico (Tabla 2 de trabajos relacionados con densidad de la madera), los estudios vinculados obtienen diferencias debido al enfoque aplicado, los ejemplos aplicados de productividad concluyen en un primer punto que las velocidades de crecimiento elevadas disminuyen las densidades de madera obtenidas (Valencia 1994) lo que en nuestro estudio no tendría vinculación salvo excepto con los organismos cultivados de Naolinco y Perote, dado que las mejoras en los organismos cultivados estarían enfocados a tener mayor velocidad de crecimiento. esto estaría reforzado por el trabajo relacionado con el efecto del aclareo que disminuye la densidad de la madera, y que ambos trabajos están desarrollados en *Pinus patula*. El efecto de la edad estaría en el trabajo de Larios(1979) y Vaca (1992) ya que indica que la edad aumenta el peso específico, sin embargo, en nuestro estudio se tomaron en cuenta las muestras completas por lo que el efecto relacionado con diferentes rodajas o edad no es comparable, finalmente los trabajos de Ortega (1999) y Calixto (1996) vuelven a ser contradictorios, ya que Ortega menciona que la densidad se mantuvo constante a lo largo de las familias, y en el trabajo de Calixto el análisis de los pesos específicos muestran diferencias entre los sitios pero encontrando la mayor fuente de varianza entre los árboles, por lo que respecta a nuestro trabajo, este no estaría reflejando los efectos respectivos de edad.

¿Cuál es el punto de importancia que se debe tomar en cuenta para los trabajos de este tema?, ¿Es posible entonces que los trabajos vinculados con el manejo de la genética, en realidad no tengan validez?

Si bien se ha destacado en esta discusión la ausencia de un trabajo climático más fino en los antecedentes, junto con todos los efectos fisiológicos que este provoca, es de vital importancia el recordar que los genotipos obtenidos son producto de una selección previa que esta dictada por el ambiente, que en nuestro caso estaría enfocado en el clima, por lo que el desarrollo de un organismo en un ambiente también esta vinculado íntimamente con su carga génica, de esta manera aunque el clima pudiera ofrecer todas las facilidades para un crecimiento óptimo, las características finales estarán influenciadas por la expresión máxima de estos genes, sin los cuales dichas características no estarían disponibles para su selección.

El clima es uno de los factores menos analizados en los estudios forestales, y esto se debe tomar en cuenta con una peculiar atención, ya que desde los ángulos más básicos los antecedentes que toman en cuenta los desempeños fisiológicos, hablan de constantes tales como la temperatura, para el funcionamiento de toda la maquinaria bioquímica de la planta (Berry & Bjorkman 1980). Muy posiblemente en este sentido se tenga que romper con mecanismos fabricados para el estudio de la materia forestal en particular, ya que no se puede seguir ignorando por una costumbre basada en un conocimiento establecido, la amplia influencia que el clima esta ejerciendo en los organismos.

8. Conclusiones:

El análisis de la densidad relativa de la madera, la longitud de traqueidas y de los índices de las localidades, dio como resultado que existen diferencias significativas entre sitios.

Para la longitud de traqueidas de los organismos silvestres en las regresiones simples la temperatura mínima tuvo la mayor influencia, siendo significativa en todos los meses y el promedio anual, las horas frío solamente fueron significativas en la longitud de traqueidas de los organismos silvestres para el mes de Enero.

Para la densidad relativa de madera de los organismos silvestres en las regresiones simples, la temperatura mínima fue representativa únicamente en el mes de Enero.

No se pudo llevar a cabo una comparación adecuada de los organismos silvestres y cultivados debido a la falta de más sitios de cultivo, por lo cual no se puede concluir cual es el efecto del ambiente en los organismos cultivados, sin embargo, para los organismos silvestres este estudio indica que el clima representado por la temperatura mínima posee una amplia influencia en la determinación de estas características de la madera, y que posiblemente los estudios a nivel forestal que han tratado de relacionar el clima y las características de la madera no han encontrado resultados debido a que consideran la temperatura promedio y las precipitaciones anuales como los factores a analizar; siendo que a nivel microclimático los extremos diarios pueden tener un mayor peso en la fisiología de las plantas. Esto hace notar detalladamente que hacen falta estudios más detallados del clima dominante en los sitios y de sus efectos sobre los ensayos realizados a nivel forestal, bajo ninguna circunstancia es posible descartar los estudios de producción basados en la genética, ya que sin ellos no sería posible la obtención de resultados adecuados a las necesidades de cada problema.

Los resultados obtenidos aquí podrían ser usados en estudios posteriores enfocados a la producción, ya que se podrían diferenciar áreas con base en las características microclimáticas de cada lugar, lo que optimizaría los resultados obtenidos a nivel forestal de individuos mejorados que sean del mismo ambiente, esto significa tomar en cuenta la interacción de los dos factores, tanto el genético, como el climático. Este

estudio puede contribuir en parte con el aprovechamiento de los recursos, y esto es muy necesario en México debido al grave problema de deforestación que hay en el país.

Como una sugerencia final se puede recomendar el estudio de las tasas fotosintéticas de los organismos de cada lugar, el resultado que indica que una temperatura mínima más baja esta relacionada con densidades menores, traqueidas más largas y viceversa, podría sugerir que en el extremo de la temperatura mínima la reacción fotosintética es menor y esto influye en la obtención de los fotosintatos que se depositan en la pared celular, pero permitiendo que las traqueidas se desarrollen más, por el contrario con una temperatura mínima más alta la fotosíntesis no se vería decrementada, obteniéndose una mayor cantidad de fotosintatos y aunque la longitud de traqueidas disminuyera, la densidad relativa aumentaría. En el nivel individual de cada organismo un método de selección previo también podría realizarse observando cuales son los organismos que fotosintetizan más, ya que esto podría sugerir en un futuro cuáles presentarán una mayor densidad producto de una mayor deposición de productos fotosintéticos en la pared celular, lo que destaca entonces la importancia de estudios con esta finalidad.

9. Referencias

- Aguilar M, Coutiño B, Salinas R. 1996. Manual General de Técnicas Histológicas y Histoquímicas. Las prensas de Ciencias 130 p.
- Aguilar R. M., Aguilar S. D. 1991. Determinación de la "Calidad de Estación" en los bosques de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Rev. Cien. For. en Méx. Vol. 16 Núm. 69 128 p. México, D. F. Ene-Jun 1991.
- Aguilar R.M. Villasalas A.B. 1995. Rutinas de cálculo de once métodos para determinar el incremento en volumen de coníferas. Revista Ciencia Forestal en México Vol. 20 núm. 27 Enero- Junio de 1995
- Andres A. J. 1992. Efecto de la acumulación de horas frío y la aplicación de giberelinas sobre la producción de estolones en fresas. Tesis (M. C. Esp en Fruticultura) Montecillo, Méx. 93 p.
- Arreola V. J.J.G. 1986. Efecto de la presión osmótica en la germinación y desarrollo inicial de *Pinus patula* Schlttdl. & Cham. y *P. montezumae* Lamb. UACH.DICIFO. Chapingo, Méx. Tesis de Licenciatura 77 pp.
- Atkin, O. K., Evans, J. R., Ball, M. C., Lambers, H., and Pons, T. (2000). Leaf Respiration of Snow Gum in the Light and Dark. Interactions between Temperature and Irradiance. *Plant Physiol.* 2: 915-923.
- Balduman et al 1999. Genetic variation in cold hardiness of Douglas- fir in relation to parent tree environment. *Canadian Journal of Forest Research*; Jan 1999; 29, 1; Career and Technical Education pg. 62.
- Bannan, M.W. 1956. Some aspects of the elongation of fusiform cambial cells in *Thuja occidentalis*. *Can. J. Bot.* 33: 175-196
- Barahona A., Piñero D. 1994. Genética: La continuidad de la vida. Fondo de cultura económica. 147 p.
- Batley 2000. Aspects of seasonality. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 51, No. 352, pp. 1769-1780, November 2000
- Berlik et al 2002 The illusion of preservation: a global environmental argument for the local production or natural resources. *Journal of Biogeography* 29, 1557-1568
- Benavides S. J. D. 1991. Índices de Sitio Para estimar la Calidad de Sitio En Bosques de Coníferas. Rev. Cien. For. En Méx. Vol. 16 Núm. 69 128 P. México, D. F. Ene-Jun 1991.
- Berry J. & Bjorkman O. 1980. Photosynthetic response and Adaptation to temperature in higher plants. *Ann. Rev. Plant. Physiol.* 31: 491-543.
- Bhatnagar, H. P., and Talwar, K. K. (1978). Studies on the effect of growth regulators on growth and tracheid characters of *Pinus caribaea* seedlings. *Indian For.* 104, 333-354.
- Bidwell, R. G. S. 1983. Fisiología vegetal. A.G. T. Editor, México. D. F. 784 p.
- Bonilla, A. V. O. 1993 Variación natural en *Pinus hartwegii* Lindl: longitud de traqueidas de la madera en poblaciones a lo largo del Eje Neovolcánico. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. 83 p.
- Brauer H., O. 1986. Fitogenética aplicada. Limusa. México, D.F. 518 p.
- Brinkley, C. S. 1990. Climate change and Forest. Flag staff Az: Northern Arizona University School Forestry.
- Brown, H. P., A. J. Panshin & C. C. Forsaith. 1952. Textbook of wood technology . Vol. II . The physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States. McGraw-Hill, New York, U.S.A. 783 p.

- Caballero D. M., Prado O. A. 1969. Observaciones preliminares en una plantación experimental de *Pinus patula* y *Pinus Leiophylla*. Boletín Técnico No. 28. Octubre de 1969. 21p.
- Caín, S. A. 1944. Foundations of plant geography. Ann. Rev. Plant physiology. 5: 249 –270. U.S.A.
- Castañeda H. P. 1990. Panorama a futuro de la industria celulósica- papelera en México, determinado mediante técnicas estadísticas de proyección. Revista *Amatl*
- Castaños M., 1962. Evaluación de la calidad de Estación de Pino patula en el Norte de Oaxaca. Bol. Tec .Inst. For. Abril de 1962 32 p.
- Calixto T. O. 1996. Variación del peso Específico y longitud de traqueidas de *Pinus herrerae* Martínez de la región de el Salto, Durango. Universidad Autónoma Chapingo. División Ciencias Forestales, Chapingo, Méx. Tesis de Licenciatura 90p.
- Ceulemans et al 2002 Elevated atmospheric CO2 alter wood production, wood quality and wood strength of Scots pine (*Pinus sylvestris* L) after three years of enrichment Global Change Biology **8**, 153-162
- Cid V. R. M. 1965. Estudio cariológico en *Pinus montezumae* Lamb y *Pinus patula* Schltl. & Cham. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Méx. Tesis de Licenciatura 23 p.
- Chan M., M.H. & M. Azueta G. 1992. Gravedad específica de la madera. Boletín Académico FIUADY, Fac. de Ingeniería de la Univ. Aut. De Yucatán. No.20:39-47
- Chavelas Polito, J. 1981. El *Pinus caribea* Morelet en el estado de Quintana Roo, México. Inst. Nal. Invest. For. Nota Tec. No. 10. 8pp.
- CONABIO, Página oficial del Consejo Nacional de la Biodiversidad.
www.conabio.gob.mx/biodiversitas/pino.htm
- Cown, D., McConchie, D., and Young, G. 1991. Radiata pine wood properties survey. Forest Research Institute. Rotorua, D. Z. Bull 50.
- Claudio G.L.E. 1995. Análisis Comparativo de Biomasa, área foliar y eficiencia de crecimiento en dos rodales de *Pinus patula* sometidos a aclareos. Montecillos, Méx., 66 p. ilustr. Tesis de Maestría en Ciencias
- Crowe P. R. 1971. Concepts in Climatology. Edit Longman. 589 p.
- Dinwoodie, J.M. 1961. Tracheid and fibre length in timber: a review of literature. Forestry 34 (2) : 125-144
- Donald T. H. 1951. Wood Technology, constitution properties and uses. Pitman Publishing Corporation. 396 p.
- ERIC2 Extractor Rápido de Información Climatológica. 2000. Compilación de Datos. Instituto Mexicano de la Tecnología del Agua, CNA.
- Echenique Manrique, R. y Díaz Gómez, V. 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de once especies mexicanas. Reimpresión del Boletín Técnico No. 27. INIF. México D. F. 71 p.
- Eguiluz Piedra T, 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el genero *Pinus* en México. Tesis de Licenciatura. Departamento de Bosque, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 675 p.
- Eguiluz P., 1982. Clima y Distribución del Genero *Pinus* en México. Rev. Ciencia Forestal No. 38 Vol.7 Julio Agosto 1982.
- Einspahr, D. W., P. J. Van Buijtenen & J.R. Peckman. 1969. Pulping characteristics of ten year Loblolly pine selected for extreme wood specific gravity.
- Esau, K. 1987. Anatomía de las gimnospermas.

- Feria, P. S. 1989. Variación natural en longitud y dimensiones transversales de las traqueidas en *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* y *Pinus michoacana* var. *Cornuta* de la Sierra Chatina, Oaxaca. Tesis de licenciatura. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Méx. , 89 p.
- Finkelstein R. T. et al. 2002. The Plant Cell, Supplement S15-S45.
- Fritts, H. C. 1958. An analysis of radial growth of beech in a central Ohio forest during 1954-1955. *Ecology* no 39: 705 – 720. U.S.A.
- And E.C. Fritts. 1955. A new Dendrograph for recording radial changes of a tree. *Forest, Sci.* No. 1: 271- 276. U.S.A.
- Flexas et al 1999. Analysis of the Relative Increase in Photosynthetic O₂ Uptake When Photosynthesis in Grapevine Leaves Is Inhibited following Low Night Temperatures and / or Water Stress. *Plant Physiology*, October 1999, Vol. 121, pp. 675-684.
- Francis & Currie 2003. A Globally Consistent Richness- Climate Relationship for Angiosperms. *The American Naturalist*; Apr 2003; 161, 4; Academic Research Library pg 523.
- Fuentes Salinas, M. 1987. Apuntes para el curso de tecnología de la madera. Serie de apoyo académico No. 33 División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 97 p.º
- Fukuda, H. (1994). Redifferentiation of single mesophyll cells into tracheary elements. *Int. J. Plant Sci.* 155, 262-271
- García Martínez, E. S. 1984. Variación del peso específico de siete especies de pino del Estado de Oaxaca. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 56 p.
- Gartner, L. B. 1995. Patterns of Xylem Variation within a Tree and Their Hydraulic and Mechanical Consequences. In: *Plant Stems Physiology and Functional Morphology*. Pp 125-149. Academic Press Inc.
- Golfari, L. (1970) Conifers suitable for reforestation in the states of Parana, Sante Catarina and Rio Grande do Sul. UNDP/FAO Report to the govt. of Brazil TA2858. Rome.
- Gómez N. M.S., Sánchez I. L., 1976. Problema de Enfermedad en *Pinus Montezumae* Lamb. Y *Pinus patula* Schltdl. & Cham., en un Experimento sobre Fotoperiodos. *Bol. Tec .Inst. For.* No 47. Agosto 1976 21p.
- Gwaze et al 2002. Optimum selection age for wood density in loblolly pine. *Canadian Journal of Forest Research*; Aug 2002; 32,8; Career and Technical Education pg. 1393.
- Hannrup & Ekberg 1998. Age-age correlations for tracheid length and wood density in *Pinus sylvestris*. *Canadian Journal of Forest Research*; Sep 1998; 28,9; Career and Technical Education pg. 1373.
- Harris, J. M. 1970. Mejoramiento genético para elevar la calidad de la madera. *Unasyuva* 24 (2-3): 32- 36.
- Harris, J.M. 1983. Variation in wood quality: research requirements and research strategy. IUFRO Conf. Div. 5. Madison, wi., USA. Pp. 117-134
- Hawley, R. C. y D. M. Smith. 1972. *Silvicultura práctica*. Trad.del ingles por Jaime Terradas. 6ª. Ed. Barcelona. OMEGA. 544p.
- Hernández, Hernández, F. 1985 Variación natural en *Pinus hartwegii*, peso específico y longitud de traqueidas en Zoquiapan, México. Tesis de Licenciatura. Depto. De Bosques, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 53 p.
- Hernández Pérez, J. O. 1985. Variación natural en *Pinus hartwegii*: peso específico de la madera a lo largo del eje neovolcánico. Tesis de Licenciatura. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 42 p.

- Hernández G.A.1987. Variación en la longitud de traqueidas de cuatro especies de pino de la Sierra de Juárez, Oaxaca. Tesis de Licenciatura. UACH.DICFO.Chapingo, Méx. 44 p.
- Hernández L. A. Et al 1996. Características de los anillos y densidad de la madera a diferentes alturas del fuste en rodales aclareados de *Pinus patula* Schltdl. et Cham. *Rev. Ciencia Forestal en México*. Vol. 21. núm. 80. Julio- Diciembre de 1996.
- Hocker Jr., H.W. 1984. Introducción a la biología forestal. A.G.T. Editor, México, D. F, 446 p.
- Hymus et al 1999. Does Free-Air Carbon Dioxide Enrichment Affect Photochemical Energy Use by Evergreen Trees in Different Seasons ? A Chlorophyll Fluorescence Study of Mature Loblolly Pine. *Plant Physiology*, August 1999, Vol. 120, pp. 1183-119.
- Huerta J.1976.Anatomía de la madera de 12 especies de coníferas Mexicanas. Bol. Téc. Inst. Nal. de Invest. For. No. 51 2ª Ed.56 p.
- Ifju, G. & R. W. Kennedy 1962. Some variables affecting microtensile strength of douglas fir. *For. Prod. Jour.* 12 (4): 213-217
- Ivkovich et al 2002. Genetic variation in wood properties of interior spruce. II.Tracheid characteristics. *Canadian Journal of Forest Research*; Dec 2002; 32,12; Career and Technical Education pg.2128
- Johansen, D.A. 1940. Plant microtechnique. McGrawHill, New York USA. 523 p.
- Johnson et al 2003. Influence of Bravo fungicide applications on wood density and moisture content of Swiss needle cast affected Douglas- fir trees. *Forest Ecology and Management* 186 (2003) 339-348.
- Keller, R. 1973. Caractéristiques du bois de pin maritime. Variabilité et transmission hèreiditaire. *Ann. Sci. For.* 30:31-62
- Kollman, F. R. 1959. Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Trad. de la 2ª. Ed. Alemana por el Instituto Forestal de Investigación, Experiencias y el servicio de la madera, Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 675 p.
- Krebs C. J. 1985. Ecología. Ed Harla. 753 p.
- Kuroda et al 2003. Xylem Ray Parenchyma Cells in Boreal Hardwood Species Respond to Subfreezing Temperatures by Deep Supercooling That is Accompanied by Incomplete Desiccation. *Plant Physiology*. February 2003, Vol.131,pp. 736-744.
- Lal J. B., 1992. Forest Ecology Natraj Publishers 62-63 pp.
- Larios Sánchez, P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis de Licenciatura. Depto. de Bosques, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- Larson, P. R. 1963. Evaluating the enviroment for studies of the inheritance of wood properties, In: FAO, Actas de la consulta mundial sobre genética forestal y mejora del árbol. Estocolmo, Suecia. No. 7/1, pp: 1-6
- Leyva L.J.A. 1994, Variación en el patrón de alargamiento de brotes en *Pinus patula* Schltdl. & Cham. bajo diferentes ambientes naturales UACH.DICIFO. Chapingo. México. Tesis de Licenciatura. 72 p.
- Liebig, J. 1843. Chemistry in its aplication to agriculture and physiology. Ed. Peterson.176 pp. Phyladelphia
- Little C. H.and Pharis R. 1995 In: Gartner, L. B. 1995. Plant Stems Physiology and Functional Morphology. Pp 281- 319. Academic Press.
- Little, C. H. A., and Savidge, R. A. (1987). The role of plant growth regulators in forest tree cambial growth. *Plant Growth Regul.* 6, 137-169.

- Loo-Dinkins, J. A., C. G. Tauer & J. P. Van Buijtenen 1984. Juvenile- mature relationships and heritability estimates of several traits in loblolly pine (*Pinus taeda*). *Can. Jour. For. Res.* 14:822-825.
- Mac Hattie L.B. & Horton K.W. 1963. Influences of Microclimates on mortality and growth of planted white spruce, jack pine and white pine. *Contenido Sobreiro de Forestry Chronicle* 39 (3):301-312.
- Makinen, H., Saranpaa P., and Linder, S., (2002). Wood- density variation of Norway spruce in relation to nutrient optimization and fibre dimensions. *Can.J. For. Res.* 32:185-194.
- Manzanilla H. 1971. Influencia de algunos factores Ecológico- Silvícolas sobre el I.C.A. Radial de *Abies religiosa* Schltld. et Cham. *Bol. Tec. Inst. Nal. Invest. For. México* 38.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. México. Ediciones BOTAS. 361 p.
- Mason, H. L. And P.R. Stout. 1954. The role of plant physiology in plant geography. *Ann. Rev. Plant Physiology.* 5: 249 –270. U. S. A.
- Masle 2000. The Effects of Elevated CO2 Concentrations on Cell Division Rates, Growth Patterns, and Blade Anatomy in Young Wheat Plants Are Modulated by Factors Related to Leaf Position, Vernalization, and Genotype. *Plant Physiology*, April 2000, Vol. . 122, pp. 1399-1415
- Marshall, H.G.W. and Foot, D.L. (1969) Growth and silviculture of *P. patula* in Malawi. *Malawi For. Res. Inst. Res. Rec.* 37. 58p.
- Mancera V., O. 1956. Contribución al conocimiento de la anatomía microscópica de la madera de algunas especies de pinos mexicanos. Secretaria de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría de Recursos Forestales y de Caza. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México 80 pp.
- Mayr et al 2003. Hydraulic efficiency and safety of leader shoots and twigs in Norway spruce growing at the alpine timberline. *Journal of Experimental Botany*, Nov 01, 2003; 54, 392; ProQuest Medical Library pg. 2563
- Mayr et al 2003. Winter at the Alpine Timberline. Why Does Embolism Occur in Norway Spruce But Not in Stone Pine?. *Plant Physiology*, February 2003, Vol. 131, pp. 780-792.
- Meyer, B. S. and D. B. Anderson. 1952. Plant physiology. D. Van Norstrand Company Inc. Princeton. 316 pp. N. J. U.S.A.
- Meza A. J. M.. 1992. Variación espacial de las horas frío durante el periodo invernal en la Republica Mexicana. U.A.CH. 33 p.
- Microsoft Excel 97 Copyright © 1985-1997 Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos.
- Monroy R. C. 1996. Índice de sitio para *Pinus patula* Schltld. et Cham. En la región de Huayacocotla , Estado de Veracruz. *Rev. Ciencia Forestal en México.* Vol. 21. Núm. 80. Julio-Diciembre de 1996 Pág. 56-77.
- Nicholls, J.W. 1967. Selection criteria in relation to wood properties. Australian Forest Research Grop No.1. Forestry House Canberra, Australia. 58 p.
- Nienstaedt, H. 1989. Importancia de la variación natural. In: Centro de Genética Forestal, A.C. Curso: “Mejoramiento Genético Forestal”. Centro de Genética Forestal, A. C. México. Pp. 18-25.
- Niklas, K.J. 1997. Mechanical properties of black locust (*Robinia pseudoacacia* L.) wood. Size-and age-dependent variation in sap- and heartwood. *Annals of Botany* 79: 265-272
- Nordlind E. , Östund L. 2003. Retrospective comparative analysis as a tool for ecological restoration: a case study in a Swedish boreal forest. *Forestry.* Vol. 76 No. 2: 243-251

- Ochieng, E. A. (1969) Seed weights and the expected number of seedlings of tree species growing in Kenya. Kenya For. Dept. Tech. Note 114.
- Olvera C. P. 1981. Estudio anatómico de la madera de siete especies del género *Pinus*. Bol. Téc. Inst. Nal. Invest. For. No. 71 . México. 51 p.
- Olvera, C. 1985. Descripción Anatómica de la madera de Siete especies del Género *Pinus*. Bol. Tec. Inst. Nac. Invest. For. México, No. **126** 73 p.
- Olszyk, D., Wise, C., VanEss, E., and Tingey, D., (1998). Elevated temperature but not elevated CO₂ affects long-term patterns of stem diameter and height of Douglas-fir seedlings. *Can. J. For. Res.* 28: 1046-1054.
- Ortega E., F. 1999. Densidad relativa y longitud de traqueidas en cinco familias de *Pinus patula* Schltdl. & Cham. de diferentes sitios, México. Tesis de Maestría. Instituto de Genética Forestal de la Universidad Veracruzana. Xalapa, Veracruz, México. 58 p.
- Oosting, H. 1951. Ecología vegetal. (Traducido por J. García Vicente). Aguilar, Madrid. 436 pp.
- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Limusa. México, D.F. 273 p.
- Panshin, A. J. & C. de Zeew. 1980. Textbook of wood technology: Structure, identification, properties and uses of the commercial woods of the United States and Canada. McGraw-Hill, New York, USA. 722 p.
- Panyushkina et al 2003. Summer temperature in northeastern Siberia since 1642 reconstructed from tracheid dimensions and cell numbers of *Larix cajanderi*. *Canadian Journal of Forest Research*; Oct 2003; 33,10; Career and Technical Education pg.1905
- Patterson, M. T. & Rundel, P. W. (1993). Carbon isotope discrimination and gas exchange in ozone-sensitive and resistant populations of Jeffrey pine. In *Stable Isotopes and Carbon-Water Relations*, ed. J.R. Ehleringer, A. Hall & G.D. Farquhar, pp. 213-25. San Diego: Academic Press.
- Pearson, R. G. & R. C. Gilmore. 1980. Effects of fast growth rate on the mechanical properties of Loblolly pine. *Forest Products Journal* 30 (5): 47-54
- Perry J. P. 1991. The Pines of Mexico and Central America. Timber Press Portland, Oregon. 231 p.
- Pérez O. C. Olvera C. P. 1981. Anatomía de la madera de 16 especies de coníferas. Bol. Tec. Inst. Nal. For. México, No. 69. Septiembre 1981. 111p.
- Ramsden, L., and Northcote, D. H.(1987).Tracheid formation in cultures of pine (*Pinus sylvestris*).*J.Cell Sci.* 88,467-474.
- Raz, V., y Kornneef, M. 2001. Cell Division Activity during Apical Hook Development. *Plant Physiol.* 125: 219-226
- Robles de Benito, M. 1982. Análisis del Aprovechamiento de la madera de la región del cofre de Perote, Veracruz, México. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 189 p.
- Rundel, P. W., and Yoder, B. 1998. Ecophysiology of *Pinus*. In: Ecology and Biogeography of *Pinus*, ed. D. M. Richardson. © Cambridge University Press. Pp. 296-323
- Rzedowski J. 1978. Vegetación de México. Limusa. 431 p
- Sachs 2000. Integrating Cellular and Organismic Aspects of Vascular Differentiation .*Plant Cell Physiol.***41(6)** : 649-656

- SAGAR (Secretaría de Agricultura, Ganadería y Desarrollo Rural) 1996. Anuario estadístico de la producción forestal 1994. SAGAR, Subsecretaría de Planeación, Dirección General de Información Agropecuaria, Forestal y de la Fauna Silvestre. México, D. F. 129 p.
- Salmon Muñoz J. J. 1980. Influencia de la precipitación invernal en el crecimiento en altura de pinos del grupo ponderosa en Chihuahua. Tesis de Licenciatura. Chapingo Méx. 149 p.
- Saren, M.P., Serima, R., Andersson, S., Paakkari, T., Saranpaa, P., and Pesonen, E., (2001). Structural Variation of Tracheids in Norway Spruce (*Picea abies*(L.) Karst.). *J. Struct. Biol.* 136: 101-109.
- Subsecretaría Forestal y de fauna silvestre, SARH. *Inventario Nacional Forestal Periódico*, México, 1994, Sarh, 1994.
- Sanio, K. (1872) Ueber die Grösse der Holzzellen bei der gemeinen Keifer (*Pinus Sylvestris*). *Jahrbuch Wissenschaftlichen Bot.* 8, 401-420.
- Shaw, G. R. 1909. The Genus *Pinus*. Harvard University. *Arn. Arb. Publ.* 5: 1-96. USA.
- Shepherd et al 2003. Genetics of physical wood properties and early growth in a tropical pine hybrid. *Canadian Journal of Forest Research*; Oct 2003; 33,10; Career and Technical Education pg.1923.
- Sundberg, B., and Little, C. H. A. (1990). Tracheid production in response to changes in the internal level of indole -3-acetic acid in 1 -year-old shoots of Scots pine. *Plant Physiol.* 94, 1721-1727.
- Soto M. C., Jauregui O.E. 1965. Isotermas Extremas e Índice de Aridez en la Republica Mexicana. I. Geografía U.N.A.M.
- Taylor et al 2003. Spatial and Temporal Effects of Free-Air CO₂ Enrichment (POPFACE) on Leaf Growth, Cell Expansion, and Cell Production in a Closed Canopy of Poplar. *Plant Physiology*, January 2003, Vol. 131, pp 177-185.
- Tejeda, A. 1990. An exponential model of the curve of mean monthly hourly air temperature. *Atmósfera* 4: 139-144.
- Teskey, R. O., Gholz, H.L. & Cropper, W.P. (1994). Influence of climate and fertilization on net photosynthesis of mature slash pine. *Tree Physiology*, 14, pp. 1215-27.
- USDA (United States Department of Agriculture). 1963. The application of silviculture in controlling the specific gravity of wood. Technical Bulletin No. 1288, U.S. Government Office, USDA, Forest Service. Washington, DC., USA. 97 p.
- Vaca, G. A. 1992. Variación del Peso específico de la madera y longitud de traqueidas dentro de árboles de *Pinus cembroides* Zucc. Dentro de la región de Santiago Papasquiaro, Durango. UACH. DICIFO. Chapingo, Méx. Tesis de Licenciatura 88 p.
- Van Buijtenen, J. P. 1965. Inheritance of fiber properties in North american conifers. IUFRO Section 41. Vol. 2. Melbourne Australia. 12 p.
- Van Dongen et al 2003. Phloem Metabolism and Function Have to COPE with Low Internal Oxygen. *Plant Physiology*, April 2003, Vol.131, pp. 1529-1543
- Vargas H. J.J. 1986. Frecuencia estomatal y tamaño del tejido vascular en hojas primarias de cuatro especies de *Pinus*. *Rev. Ciencia Forestal* núm. 60 Vol. 11 Julio-Diciembre 1986 paginas 51-61.
- Valencia M. S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus patula* Schltld & Cham. y su relación con la velocidad de crecimiento. Colegio de Postgraduados. Montecillos, México. Tesis de Maestría. 108 pp.

Vazquez, S. J., W. Barret and E. Lettle Jr.: 1962. Capitulo II. Botánica en Seminario y Viaje de Estudio de Coníferas Latinoamericanas, F. A. O., Secretaría de Agricultura y Ganadería. Inst. Nacional de Invest. Ftales., México, D. F., p.229.

Vela G. Luciano. 1976. *Pinus patula* una importante especie mexicana de pino. Vol. 1 No. 1 Mayo-Junio 1976. páginas 12-20.

Vela G. Luciano. 1980. Contribución a la ecología de *Pinus patula*. Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Subsecretaria Forestal y de la Fauna. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Publicación especial No. 19 Noviembre de 1980. 109 pp.

Villaseñor R. R. Carrera G. M.V.S. 1980. Revista Ciencia Forestal núm. 23 Vol. 5 Enero- Febrero 1980.

Wager & Baker 2003. Potential effects of ozone, climate, and spruce budworm on Douglas-fir growth in the Wasatch Mountains. *Canadian Journal of Forest Research*; May 2003; 33, 5; Career an Technical Education pg. 910

Wang, Q., Little, C. H. A., Sheng, C., Oden P. C. and Pharis, R. P.(1992). Effect of exogenous acetic acid and gibberellins A 4, A 7 and A 9 in the terminal shoot of *Pinus sylvestris* seedlings. *Physiol. Plant.* 86, 202- 208.

Wang, T., and Aitken, S. N., 2001. Variation in xylem anatomy of selected populations of lodgepole pine. *Can. J. For. Res.* 31: 2049-2057.

Wardrop, A. B., and Davies, G. W.(1961). Morphological factors relating to the penetration of liquids into wood. *Holzforschung*.15., 129-141.

Warren Wilson, J., and Warren Wilson, P. M. (1991). Effects of auxin concentration on the dimensions and patterns of tracheary elements differentiating in pith explants. *Ann. Bot.*68, 463-467.

Weier, T.E., C. R. Stocking & M.G. Barbour. 1980. Botánica. 5a Ed. Limusa, México, D. F. 741 p.

Williamson, G. B. 1975. Pattern and seral composition in an old growth beech-maple forest. *Ecology* 56: 727-731

Wormald, T. J. 1975. *Pinus patula*. Tropical Forestry Paper No. 7. Eng . Oxford University Department of Forestry. 172 apend. Ilus.

Yamaguchi & Kamiya 2000. Gibberellin Biosynthesis: Its Regulation by Endogenous and Environmental Signals. *Plant Cell Physiol.* **41(3)**: 251-257

Yu et al 2003. Genetic variation in decay resistance and its correlation to wood density and growth in white spruce. *Canadian Journal of Forest Research*; Nov 2003; 33, 11; Career and Technical Education pg. 2177.

Zhang, Shu-Yin. 1994. Mechanical properties in relation to specific gravity in 342 Chinese woods. *Wood and Fiber Science* 26 (4); 512-526

Zhang, R. (1990). Investigations of the Possible Hormonal Basis for Genetically Superior Growth Capacity in Two Conifers, *Pinus radiata* and *Pinus contorta*. M. Sc.thesis. University of Calgary, Alberta, Canada

Zobel, B. J. & J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles forestales. LIMUSA, México, D. F. 545 p.

Zobel , B.J., D. Cole & R. Stonecypher. 1962. Wood properties of clones of slash pine. Forest Genetics Workshop Macon, GA. Pp. 32-39.

Zobel, B.J. & J.B. Jett. 1995. Genetics of wood production. Springer-Verlag Series in Wood Science, Berlin. 337 p.

10. Apéndice

I. Análisis de los Índices Climáticos.

ANOVA Table for DeMartonne by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	31,6933	4	7,92332	63,70	0,0000
Within groups	680,982	5475	0,12438		
Total (Corr.)	712,675	5479			

Multiple Range Tests for DeMartonne by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
FrijolColorado	1096	0,0180027	X
Perote	1096	0,0653902	X
Jico	1096	0,172642	X
Naolinco	1096	0,174541	X
LaJoya	1096	0,221642	X

ANOVA Table for Gaussen by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	26,6439	4	6,66098	66,13	0,0000
Within groups	551,482	5475	0,100727		
Total (Corr.)	578,126	5479			

Multiple Range Tests for Gaussen by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
FrijolColorado	1096	0,0167439	X
Perote	1096	0,0603942	X
Naolinco	1096	0,137532	X
Jico	1096	0,182284	X
LaJoya	1096	0,196917	X

ANOVA Table for Lang by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	106,576	4	26,6439	66,13	0,0000
Within groups	2205,93	5475	0,402909		
Total (Corr.)	2312,5	5479			

Multiple Range Tests for Lang by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
FrijolColorado	1096	0,0334877	X
Perote	1096	0,120788	X
Naolinco	1096	0,275064	X
Jico	1096	0,364568	X
LaJoya	1096	0,393835	X

ANOVA Table for Koppen by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	41,8382	4	10,4595	63,92	0,0000
Within groups	895,915	5475	0,163637		
Total (Corr.)	937,753	5479			

Multiple Range Tests for Koppen by Sitio

Method: 95,0 percent LSD			
Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
FrijolColorado	1096	0,0208727	X
Perote	1096	0,0755461	X
Naolinco	1096	0,195688	X
Jico	1096	0,204417	X
LaJoya	1096	0,25444	X

ANOVA Table for Angstrom by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	93,0873	4	23,2718	66,13	0,0000
Within groups	1926,74	5475	0,351917		
Total (Corr.)	2019,83	5479			

Multiple Range Tests for Angstrom by Sitio

Method: 95,0 percent LSD			
Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
FrijolColorado	1096	0,031297	X
Perote	1096	0,112886	X
Naolinco	1096	0,257069	X
Jico	1096	0,340718	X
LaJoya	1096	0,36807	X

ANOVA Table for T_{MAX} by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	34308,9	4	8577,23	564,15	0,0000
Within groups	83225,4	5474	15,2038		
Total (Corr.)	117534,0	5478			

Multiple Range Tests for T_{MAX} by Sitio

Method: 95,0 percent LSD			
Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
Jico	1096	15,9626	X
LaJoya	1096	19,5479	X
FrijolColorado	1096	20,588	X
Perote	1096	21,849	X
Naolinco	1095	23,3753	X

ANOVA Table for T_{MIN} by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	63700,9	4	15925,2	1746,31	0,0000
Within groups	49928,6	5475	9,11937		
Total (Corr.)	113629,0	5479			

Multiple Range Tests for T_{MIN} by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
Jico	1096	3,27372	X
Perote	1096	3,63641	X
FrijolColorado	1096	5,01369	X
LaJoya	1096	7,56661	X
Naolinco	1096	12,5178	X

ANOVA Table for Pp by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	19596,3	4	4899,07	65,33	0,0000
Within groups	410538,0	5475	74,9841		
Total (Corr.)	430134,0	5479			

Multiple Range Tests for Pp by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
FrijolColorado	1096	0,397993	X
Perote	1096	1,49462	X
Jico	1096	3,37181	X
Naolinco	1096	4,93339	X
LaJoya	1096	5,23714	X

ANOVA Table for T_{MEDIA} by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	39120,5	4	9780,12	1215,17	0,0000
Within groups	44064,8	5475	8,04836		
Total (Corr.)	83185,3	5479			

Multiple Range Tests for T_{MEDIA} by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
Jico	1096	9,61816	X
Perote	1096	12,7427	X
FrijolColorado	1096	12,8009	X
LaJoya	1096	13,5573	X
Naolinco	1096	17,9386	X

ANOVA Table for HF by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	43041,4	4	10760,4	669,89	0,0000
Within groups	87944,1	5475	16,0629		
Total (Corr.)	130986,0	5479			

Multiple Range Tests for HF by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
Naolinco	1096	0,418796	X
LaJoya	1096	2,28376	X
FrijolColorado	1096	4,66788	X
Perote	1096	5,71442	X
Jico	1096	8,5438	X

II. Análisis de la longitud de traqueidas.

ANOVA Table for Longitud by Sitio

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	6,82928E7	4	1,70732E7	33,11	0,0000
Within groups	2,67882E9	5195	515653,0		
Total (Corr.)	2,74711E9	5199			

Multiple Range Tests for Longitud by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
Naolinco	600	2049,19	X
Joya	1000	2304,2	X
FrijolC.	1000	2334,23	X
Xico	1000	2358,9	X
Perote	1600	2440,42	X

Contrast	Difference	+/- Limits
FrijolC. - Joya	30,032	62,9423
FrijolC. - Naolinco	*285,045	72,6795
FrijolC. - Perote	*-106,183	56,7354
FrijolC. - Xico	-24,672	62,9423
Joya - Naolinco	*255,013	72,6795
Joya - Perote	*-136,215	56,7354
Joya - Xico	-54,704	62,9423
Naolinco - Perote	*-391,228	67,3757
Naolinco - Xico	*-309,717	72,6795
Perote - Xico	*81,511	56,7354

* denotes a statistically significant difference.

ANOVA Table for Longitud by Ns, Nc, Ps, Pc

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	2,45768E8	3	8,19226E7	214,36	0,0000
Within groups	1,60361E9	4196	382176,0		
Total (Corr.)	1,84938E9	4199			

**Table of Means for Longitud by NsNcPsPc
with 95,0 percent LSD intervals**

NsNcPsPc	Count	Mean	Stnd. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Nc	1000	1950,72	19,5493	1923,63	1977,81
Ns	600	2049,19	25,2381	2014,21	2084,16
Pc	1000	1893,8	19,5493	1866,71	1920,89
Ps	1600	2440,42	15,4551	2419,0	2461,83
Total	4200	2137,78			

Multiple Range Tests for Longitud by NsNcPsPc

Method: 95,0 percent LSD

NsNcPsPc	Count	Mean	Homogeneous Groups
Pc	1000	1893,8	X
Nc	1000	1950,72	X
Ns	600	2049,19	X
Ps	1600	2440,42	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Nc - Ns	*-98,4667	62,5699
Nc - Pc	*56,92	54,1871
Nc - Ps	*-489,695	48,8436
Ns - Pc	*155,387	62,5699
Ns - Ps	*-391,228	58,0038
Pc - Ps	*-546,615	48,8436

* denotes a statistically significant difference.

III. Análisis de la densidad relativa de madera

ANOVA Table for Densidad by Grupo

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0567662	3	0,0189221	1,66	0,2141
Within groups	0,194294	17	0,0114291		
Total (Corr.)	0,251061	20			

**Table of Means for Densidad by Grupo
with 95,0 percent LSD intervals**

Grupo	Count	Mean	Stnd. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Nc	5	0,308056	0,0478102	0,236729	0,379382
Ns	3	0,468235	0,0617227	0,376153	0,560317
Pc	5	0,3287	0,0478102	0,257374	0,400027
Ps	8	0,380937	0,0377973	0,324549	0,437326
Total	21	0,363618			

Multiple Range Tests for Densidad by Grupo

Method: 95,0 percent LSD

Grupo	Count	Mean	Homogeneous Groups
Nc	5	0,308056	X
Pc	5	0,3287	X
Ps	8	0,380937	X
Ns	3	0,468235	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Nc - Ns	-0,16018	0,164722
Nc - Pc	-0,0206448	0,142653
Nc - Ps	-0,0728819	0,128586
Ns - Pc	0,139535	0,164722
Ns - Ps	0,0872978	0,152701
Pc - Ps	-0,0522371	0,128586

*denotes a statistically significant difference.

ANOVA Table for densidad by Sitio

Analysis of Variance

Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0,0205305	4	0,00513263	0,57	0,6871
Within groups	0,189026	21	0,00900122		
Total (Corr.)	0,209556	25			

Table of Means for densidad by Sitio with 95,0 percent LSD intervals

Sitio	Count	Mean	Stnd. error (pooled s)	Lower limit	Upper limit
Frijol Colora	5	0,43133	0,0424293	0,368938	0,493723
Jico	5	0,429019	0,0424293	0,366626	0,491411
La Joya	5	0,428012	0,0424293	0,365619	0,490405
Naolinco	3	0,468235	0,054776	0,387687	0,548784
Perote	8	0,380937	0,0335433	0,331612	0,430263
Total	26	0,419			

Multiple Range Tests for densidad by Sitio

Method: 95,0 percent LSD

Sitio	Count	Mean	Homogeneous Groups
Perote	8	0,380937	X
La Joya	5	0,428012	X
Jico	5	0,429019	X
Frijol Colora	5	0,43133	X
Naolinco	3	0,468235	X

Contrast	Difference	+/- Limits
Frijol Colora - Jico	0,00231185	0,124786
Frijol Colora - La Joya	0,00331846	0,124786
Frijol Colora - Naolinco	-0,0369048	0,14409
Frijol Colora - Perote	0,050393	0,11248
Jico - La Joya	0,00100661	0,124786
Jico - Naolinco	-0,0392167	0,14409
Jico - Perote	0,0480811	0,11248
La Joya - Naolinco	-0,0402233	0,14409
La Joya - Perote	0,0470745	0,11248
Naolinco - Perote	0,0872978	0,133575

*denotes a statistically significant difference.

Figura 19. r cuadrada de las regresiones simples de la longitud de traqueidas de los organismos silvestres y valores de p obtenidos.

Los valores marcados en negritas son los valores significativos $p < .05$

Mes	R2 Temperatura máxima.	P	r2 Temperatura mínima.	P	r2 Temperatura promedio.	P	r2 Precipitación.	P	r2 Índice de aridez.	P
Enero	0,0486208	0,7215	0,962907	0,0031	0,71224	0,0722	0,381856	0,2666	0,20966	0,4381
Febrero	0,124748	0,5598	0,934811	0,0072	0,685625	0,0834	0,137167	0,5395	0,0436684	0,7359
Marzo	0,105808	0,5933	0,941031	0,0062	0,708118	0,0739	0,515565	0,1719	0,411112	0,2437
Abril	0,14526	0,5267	0,880388	0,0182	0,602317	0,1228	0,320603	0,3197	0,189467	0,4638
Mayo	0,284363	0,3548	0,892855	0,0154	0,666328	0,0919	0,72812	0,0659	0,575883	0,1369
Junio	0,371896	0,2748	0,878154	0,0188	0,697412	0,0784	0,138977	0,5366	0,0412138	0,7433
Julio	0,351014	0,2925	0,898581	0,0141	0,712633	0,0721	0,343107	0,2994	0,168532	0,4924
Agosto	0,373682	0,2733	0,815343	0,0358	0,699899	0,0773	0,0706841	0,6655	0,0103772	0,8705
Septiembre	0,368853	0,2773	0,811032	0,0371	0,694076	0,0798	0,673909	0,0885	0,492831	0,1863
Octubre	0,295325	0,3438	0,886663	0,0168	0,724703	0,0673	0,489656	0,1883	0,304991	0,3344
Noviembre	0,281374	0,3578	0,885914	0,017	0,71827	0,0698	0,492028	0,1868	0,260813	0,3792
Diciembre	0,0230118	0,8076	0,903447	0,0131	0,600313	0,1239	0,230387	0,4132	0,0615728	0,6873
Anual	0,236073	0,4067	0,910842	0,0116	0,697804	0,0782	0,36341	0,2819	0,177718	0,4796
Mes	R2 Índice de sequedad.	P	r2 Factor de lluvia.	P	r2 Factor de sequedad.	P	r2 Coeficiente de humedad.	P	r2 Horas frío.	P
Enero	0,0696691	0,6679	0,0696691	0,6679	0,181533	0,4744	0,0696691	0,6679	0,779068	0,0474
Febrero	0,0019436	0,9439	0,0019436	0,9439	0,0331294	0,7695	0,0019436	0,9439	0,735571	0,0631
Marzo	0,280431	0,3587	0,280431	0,3587	0,392841	0,2578	0,280431	0,3587	0,744	0,0599
Abril	0,099334	0,6055	0,099334	0,6055	0,171188	0,4886	0,099334	0,6055	0,424115	0,2339
Mayo	0,42609	0,2324	0,42609	0,2324	0,548516	0,1523	0,42609	0,2324	0,403801	0,2493
Junio	0,0104693	0,87	0,0104693	0,87	0,033065	0,7698	0,0104693	0,87	0,419155	0,2376
Julio	0,0800785	0,6446	0,0800785	0,6446	0,148314	0,5221	0,0800785	0,6446	0,477867	0,1961
Agosto	5,9267E-07	0,999	5,9267E-07	0,999	0,00645699	0,8978	5,92668E-07	0,999	0,38773	0,2619
Septiembre	0,328401	0,3125	0,328401	0,3125	0,462178	0,2067	0,328401	0,3125	0,337326	0,3045
Octubre	0,169876	0,4905	0,169876	0,4905	0,277802	0,3614	0,169876	0,4905	0,59098	0,1288
Noviembre	0,0855173	0,633	0,0855173	0,633	0,224108	0,4206	0,0855173	0,633	0,649797	0,0995
Diciembre	0,00022896	0,9807	0,00022896	0,9807	0,0413314	0,7429	0,00022896	0,9807	0,62056	0,1136
Anual	0,0716258	0,6634	0,0716258	0,6634	0,154543	0,5127	0,0716258	0,6634	0,593894	0,1272

Figura 20.r cuadrada de las regresiones simples de la densidad relativa de madera de los organismos silvestres y valores de p obtenidos.

Los valores marcados en negritas son los valores significativos $p < .05$

Mes	r2 Temperatura máxima.	P	r2 Temperatura mínima.	P	r2 Temperatura promedio.	P	r2 Precipitación.	P	r2 Índice de aridez.	P
Enero	0,0116435	0,8629	0,820701	0,0341	0,39677	0,2547	0,324641	0,316	0,214779	0,4318
Febrero	0,00035415	0,976	0,723954	0,0676	0,332081	0,3092	0,131831	0,5481	0,066434	0,6755
Marzo	0,00279134	0,9328	0,685498	0,0834	0,321602	0,3188	0,273301	0,3661	0,223146	0,4217
Abril	0,00092424	0,9613	0,567348	0,1416	0,235304	0,4075	0,0750987	0,6555	0,034146	0,7661
Mayo	0,036363	0,7587	0,575584	0,137	0,288649	0,3504	0,482877	0,1928	0,429423	0,23
Junio	0,0635008	0,6826	0,532134	0,1619	0,287352	0,3517	0,176058	0,4819	0,100105	0,604
Julio	0,0684897	0,6706	0,562948	0,144	0,315111	0,3248	0,306843	0,3327	0,197589	0,4533
Agosto	0,0819937	0,6405	0,460593	0,2078	0,296604	0,3426	0,122127	0,5643	0,062908	0,684
Septiembre	0,0686696	0,6702	0,451286	0,2143	0,287655	0,3514	0,473393	0,1991	0,395163	0,256
Octubre	0,0441324	0,7345	0,548726	0,1521	0,333396	0,308	0,263785	0,3761	0,172018	0,4875
Noviembre	0,0420073	0,7409	0,581771	0,1337	0,356303	0,2879	0,27302	0,3664	0,159228	0,5058
Diciembre	0,0275882	0,7895	0,71772	0,07	0,291379	0,3477	0,111319	0,5832	0,033688	0,7676
Anual	0,0185704	0,827	0,607455	0,1202	0,313849	0,326	0,28754	0,3516	0,182582	0,473
Mes	r2 Índice de sequedad.	P	r2 Factor de lluvia.	P	r2 Factor de sequedad.	P	r2 Coeficiente de humedad.	P	r2 Horas frío.	P
Enero	0,110883	0,584	0,110883	0,584	0,195441	0,456	0,110883	0,584	0,488537	0,1891
Febrero	0,0218805	0,8124	0,0218805	0,8124	0,0575855	0,6974	0,0218805	0,8124	0,459771	0,2084
Marzo	0,171049	0,4888	0,171049	0,4888	0,215325	0,4311	0,171049	0,4888	0,48565	0,191
Abril	0,0150431	0,8442	0,0150431	0,8442	0,0296979	0,7817	0,0150431	0,8442	0,196224	0,455
Mayo	0,365381	0,2802	0,365381	0,2802	0,418614	0,238	0,365381	0,2802	0,206259	0,4423
Junio	0,0667986	0,6746	0,0667986	0,6746	0,0924121	0,619	0,0667986	0,6746	0,181042	0,4751
Julio	0,133542	0,5453	0,133542	0,5453	0,183786	0,4714	0,133542	0,5453	0,224647	0,4199
Agosto	0,0361498	0,7594	0,0361498	0,7594	0,0566617	0,6998	0,0361498	0,7594	0,133654	0,5451
Septiembre	0,313962	0,3259	0,313962	0,3259	0,380911	0,2674	0,313962	0,3259	0,091899	0,62
Octubre	0,10489	0,595	0,10489	0,595	0,158691	0,5065	0,10489	0,595	0,291798	0,3473
Noviembre	0,0698737	0,6674	0,0698737	0,6674	0,141088	0,5332	0,0698737	0,6674	0,375919	0,2715
Diciembre	0,00113083	0,9572	0,00113083	0,9572	0,0244999	0,8015	0,00113142	0,9572	0,369747	0,2766
Anual	0,11149	0,5829	0,11149	0,5829	0,168261	0,4928	0,111496	0,5829	0,31228	0,3275

V Iluminación Köheler, calibración de microscopio y preparación de gelatina glicerizada con pardo de Bismarck. (Extracto de Aguilar et al. 1996)

Iluminación Köheler y calibración de microscopio.

- 1.-Se limpian cuidadosamente el ocular y reglilla micrométrica enfocando una preparación fija con el objetivo de menor aumento.
- 2.-Quitar la preparación fija y colocar en su lugar la reglilla micrométrica
- 3.-Enfocar y centrar la regla grabada en la reglilla micrométrica.
- 4.-Quitar uno de los oculares del microscopio y colocar en su lugar el ocular micrométrico.
- 5.-Hacer coincidir exactamente la primera de las divisiones o marcas de la escala grabadas en la reglilla micrométrica.
- 6.-Observar bien si otras divisiones de las dos reglas coinciden exactamente, si hay coincidencia entre varias divisiones, la que se toma en cuenta para realizar los cálculos es la más alejada de las divisiones coincidentes.
- 7.-Para conocer que medida representan las divisiones en el ocular micrométrico, se divide el número de divisiones entre las dos marcas extremas coincidentes del objetivo micrométrico, entre el número de divisiones correspondientes del ocular micrométrico.
- 8.-La regla grabada en el objetivo micrométrico mide 1 milímetro dividido a su vez en 10 divisiones de .1 mm y cada una de ésta dividida a su vez en 10 divisiones de 0.02 mm que corresponden a 10 micras cada una.
- 9.-Si A es el número de divisiones entre las marcas extremas coincidentes en el ocular micrométrico y B es el número de divisiones correspondientes entre las mismas marcas en el objetivo micrométrico, entonces se le llama calibración al cociente $B/A=C$.

Preparación de la Gelatina Glicerizada con Pardo de Bismarck

Se vacía un sobre de gelatina (gernetina) (7g) en seis partes de agua destilada (42 ml), se dejó reposar durante 24 horas hasta que se hidrató completamente. Posteriormente se diluyó en gelatina a baño maría con 7 partes de glicerina y finalmente se le agregó una pequeña porción de colorante de Pardo de Bismarck y una pizca de fenol (Johansen 1940).