

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Variación natural del largo de traqueidas de *Pinus greggii* Engelm.

del Norte de México

POR:

JESÚS MALDONADO JERÓNIMO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

Ingeniero Forestal

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

Variación natural del largo de traqueidas de *Pinus greggii* Engelm.

del Norte de México

POR:

JESÚS MALDONADO JERÓNIMO

TESIS:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA:

Asesor principal



M. C. Salvador Valencia Manzo

Coordinador de la División de
Agronomía



Dr. Mario Ernesto Vázquez Badillo

Coordinador
División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2011

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación natural del largo de traqueidas de *Pinus greggii* Engelm.

del Norte de México

Por:

JESÚS MALDONADO JERÓNIMO

TESIS

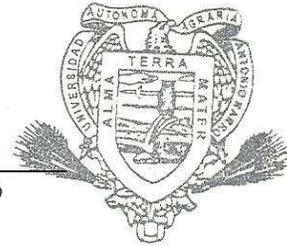
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

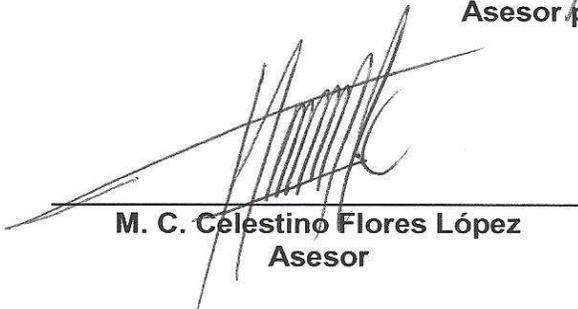
APROBADA:



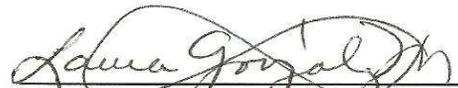
M. C. Salvador Valencia Manzo
Asesor principal



DEPARTAMENTO FORESTAL



M. C. Celestino Flores López
Asesor



M. C. Laura María González
Méndez
Asesor

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2011

DEDICATORIA

A MIS PADRES:

Tomás Maldonado Celis

Julia Jerónimo Ignacio

Gracias a su apoyo incondicional, por toda su comprensión, amor, cariño y confianza, me siento muy afortunado en tener a unos padres como ustedes, porque por todo el sacrificio que han hecho por mi he realizado mis sueños. Les agradezco todos aquellos consejos que me han dado que me sirvieron para llegar a este momento y que también me han servido para afianzar los pilares de vida, por todo los quiero y amo.

A ti madre mía porque antes de concebirme sabías que lucharías contra viento y marea por vencer las circunstancias que en ese momento se presentarían, gracias por siempre luchar por tus hijos, por ser una madre ejemplar, porque aun con es carácter fuerte que te distingue; tu ternura, tu sencillez y estar atenta a la voz de Dios para guiarnos por el buen camino te hace ser mamá especial, por todos tus sacrificios he llegado a triunfar y lograr ese sueño que juntos compartimos y que hoy se ha hecho realidad, te amo mamá.

A MIS HERMANOS:

Yadira, Oscar, Olivia, Leticia, Estrellita y Laura Antonia

Por todo el apoyo moral, económico y los sabios consejos que incondicionalmente me han proporcionado, por todo, los amo. Gracias también por darme la oportunidad de ser tío y compartir con mis sobrinas Johana, Atenea, Himilse, Brisa, Luna, momentos muy hermosos y a mi sobrino Ángel aunque no lo conozca es muy especial en mi vida.

A MIS ABUELOS:

Julia Celis Sánchez †

Brígida Ignacio García †

Pablo Maldonado Benítez †

Sixto Jerónimo Robles †

Gracias a ellos hoy puedo agradecer a mis padres por darme la vida, por todos los consejos, buenos deseos que siempre me dieron y aunque hoy no me acompañen para celebrar este día les agradezco con todo mi corazón y tengo Fé en que están con Dios.

A MIS TÍOS Y PRIMOS:

A toda la gran familia que se ha formado a través de los años y que de alguna manera me han dado su apoyo, sus consejos, incondicionalmente los quiero.

AGRADECIMIENTOS

A Dios creador del universo y dueño de mi vida que me ha permitido alcanzar mis sueños, por mantenerme en el camino con perseverancia y entusiasmo, por toda la sabiduría con la que ha guiado mi vida.

A mi "*Alma Mater*" la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme dado la oportunidad de ser orgullosamente un alumno de tan preciada institución.

Al Departamento Forestal, por ese gran apoyo que me ofreció por todo el tiempo como estudiante, a los profesores que nunca han perdido el sentido de la enseñanza y que su propósito ha sido formar individuos capaces de alcanzar sus metas.

Al M. C. Salvador Valencia Manzo, por su valioso tiempo, su amistad, confianza y su inigualable personalidad y apoyo que me brindo en mi formación en esta institución, por darme la oportunidad de trabajar en su proyecto de investigación y asesorarme para elaborar este trabajo.

A la M. C. Laura María González Méndez, por su aportación, revisión en la realización de este trabajo y por el apoyo en las actividades de laboratorio.

Al M. C. Celestino Flores López, por colaborar en la revisión de este trabajo, sus consejos, sugerencias y correcciones.

A la T. A. Angélica Martínez Ortiz, por su gran apoyo y confianza en el trabajo de laboratorio.

A Julián Charles, Ing. Gil Cabrera, por haberme ayudado en el trabajo de campo en la recolección de muestras.

A Fide Cruz, Fredy Sánchez, Omar Rueda, Marisol Butrón por su apoyo en la toma de muestras, así como a Norma Butrón y María de los Ángeles Arteaga por su colaboración en el laboratorio.

A Norma Butrón Rojas, por el tiempo valioso que en algún momento pasamos, por todo el cariño, amor, comprensión, pido a Dios perdure nuestra amistad.

A mis amigas y amigos por haber compartido momentos inolvidables a su lado: Brenda López, Marisol Butrón, María de los Ángeles Arteaga, Vera Lucia Velázquez, Fidel Cruz, Javier Hernández, Berni Hernández, David Núñez, Christopher Robín, Juan Carlos López, porque con ustedes el valor de la amistad es infinita.

A Anayanci Yajaira Morín Contreras por haber compartido esta última etapa de mi carrera, por tu apoyo, tus palabras de ánimo, comprensión, cariño, amistad y esos bellos momentos que he podido compartir a tu lado, por todo eso y más te quiero mucho.

A mis compañeros de la Generación CXI de Ingenieros Forestales, Osvaldo Medina, Fidel Cruz, Jairo Ruiz, Alfredo Lukie, Eduardo Reimers, Eri Salas, Alejandra Reyes, Moisés Alegría, Vera Velázquez, Fredy Aguilar, Marisol Butrón, y en general a todo el grupo, por haber compartido este periodo de aprendizaje, el compañerismo en los tiempos difíciles y salir adelante como grupo que fue lo que nos caracterizo.

A Servicios Integrales a Pueblos Indígenas Beni Ichi In de Oaxaca, en especial a los Ing. Adelfo Martínez Cruz, Bartolo Balentino Hernández Bautista, Roberto Hernández Bautista, por su apoyo, tiempo y confianza en el Semestre de Prácticas Profesionales.

A la Unidad de Aprovechamiento Forestal de Santiago Laxopa, en especial a Nahúm Maldonado, Neón García, Próspero Jerónimo, Mateo García, por haberme apoyado en la realización del Servicio Social.

Y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación y este logro en mi vida, hago extensivo mi más sincero agradecimiento.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos e hipótesis	2
2 REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 Variación natural	3
2.1.1 Importancia y uso	4
2.1.2 Mejoramiento genético forestal	5
2.2 La madera	6
2.2.1 Anatomía y formación de la madera	6
2.2.2 Usos e importancia de la madera	6
2.2.3 Traqueidas	7
2.3 <i>Pinus greggii</i> Engelm.	8
2.3.1 Características generales	8
2.3.2 Distribución y ecología	8
2.3.3 Usos e importancia	9
3 MATERIALES Y MÉTODOS	10
3.1 Descripción del área de estudio	10
3.2 Trabajo de campo	10
3.2.1 Diseño de muestreo	12
3.2.2 Variables registradas	12
3.3 Trabajo de laboratorio	12
3.3.1 Preparación del material	12

3.3.2	Disociación de la madera tardía	13
3.3.3	Teñido y preservación de las fibras	13
3.3.4	Montaje permanente de traqueidas en portaobjetos	13
3.3.5	Medición de la longitud de traqueidas	14
3.4	Análisis estadístico de la información	14
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	17
4.1	Medidas de tendencia central y de dispersión	17
4.2	Análisis de varianza y componentes de varianza	20
4.3	Variación de las dimensiones longitudinales de traqueidas entre localidades	22
4.4	Variación de las dimensiones longitudinales entre árboles dentro de las localidades	23
4.5	Variación de las dimensiones longitudinales entre anillos dentro de los árboles	24
5	CONCLUSIONES	26
6	RECOMENDACIONES	27
7	LITERATURA CITADA	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras de madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del Norte de México, para el análisis del largo de traqueidas de madera tardía	10
Cuadro 2. Componentes de cuadrados medios esperados para el largo de traqueidas de madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del Norte de México	16
Cuadro 3. Medidas de tendencia central y dispersión para el largo de traqueidas de madera tardía de <i>Pinus greggii</i> del Norte de México.	17
Cuadro 4. Clasificación de longitud de traqueidas (mm) para el género <i>Pinus</i> (Vignote y Jiménez, 1996).	18
Cuadro 5. Clasificación de la longitud de traqueidas de algunas especies de coníferas de acuerdo a la clasificación de Vignote y Jiménez (1996)...	18
Cuadro 6. Análisis de componentes de varianza de la longitud de traqueidas en madera tardía entre árboles dentro de localidades de madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del Norte de México.	22
Cuadro 7. Prueba de Tukey para separación de medias entre cinco localidades para la longitud de traqueidas de madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del Norte de México.	22
Cuadro 8. Variación de las dimensiones longitudinales entre árboles dentro de las localidades de madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del Norte de México.	23

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras para el análisis de la longitud de traqueidas en madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México (Curiel 2005, modificado por Maldonado 2011). 11
- Figura 2. Tendencia de la variación de las dimensiones longitudinales entre árboles dentro de las localidades de madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México. 25

RESUMEN

En las últimas cinco décadas se comprobó que los árboles tienen la capacidad de transferir características a su descendencia. Tal es el caso de la densidad de madera y la longitud de traqueidas, que por sus efectos en las características del papel y de la madera sólida son de importancia económica. El presente trabajo tuvo como objetivo determinar la magnitud y el nivel de variación en largo de traqueidas de la madera tardía en *Pinus greggii* Engelm. de cinco localidades del Norte de México.

En el presente trabajo se analizaron 50 árboles de cinco localidades: Puerto Conejo, Santa Anita, El Tarillal, Cañón de Los Lirios y Cañón de Jame, se eligieron al azar 10 árboles por localidad, procurando una distancia mínima de 20 metros entre ellos. De cada árbol, con la ayuda de un taladro de Pressler de 12 mm de diámetro se extrajo una viruta de madera a 1.30 m de altura, se le asignó una clave, en laboratorio se hicieron cortes longitudinales para obtener la madera tardía cada cinco anillos. Se utilizó el método de Franklin modificado por Rodríguez para el disociado, que sirvió para la separación de las fibras. El tamaño de muestra por cada árbol fue de 20 traqueidas a las cuales se le midió la longitud con la ayuda de un microscopio estereoscópico. Mediante el análisis estadístico se obtuvieron valores promedio de dispersión, análisis de varianza, de componentes de varianza y prueba Tukey de separación de medias.

En los resultados del análisis de varianza se encontraron diferencias en los tres niveles de estudio, localidades, árboles y anillos. La mayor contribución a la varianza total fue atribuida a diferencias entre anillos (44.82 %), seguido de árboles (11.22 %) y en menor medida las localidades (0.07 %). Las procedencias con mayor longitud de traqueidas fueron Puerto Conejo y Santa Anita. El largo de traqueidas incrementa conforme el anillo de crecimiento sea más externo.

Palabras clave: Madera tardía, Longitud de traqueidas, *Pinus greggii* Engelm., Sierra de Arteaga, Coahuila, Variación

1 INTRODUCCIÓN

Una de las características de la madera más estudiadas es la densidad o peso específico, probablemente por la aparente sencillez de su determinación (Kollmann, 1959).

Así como la densidad de la madera, existen otras características que hacen referencia a la calidad de la madera, una de ellas es la longitud de las traqueidas. Además de tener importancia económica por sus efectos sobre las características del papel, influyen sobre la resistencia de los productos de la madera sólida (Zobel, 1985; Zobel y Talbert, 1988).

La especie *Pinus greggii*, es endémica de México con gran importancia ecológica y económica; se distribuye en poblaciones aisladas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en zonas semiáridas y a veces semitropicales (Donahue y López-Upton, 1999). Poblando de manera natural los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Querétaro y Veracruz (Perry, 1991).

En el sur de Coahuila, *Pinus greggii* representa un alto valor económico para los habitantes de esta región. Esta especie ha mostrado altas tasas de crecimiento en altura y diámetro en ensayos de plantaciones (López *et al.*, 1999), así como un gran potencial para adaptarse a condiciones limitantes de humedad (Vargas y Muñoz, 1988, 1991). Estas características favorecen el uso de *Pinus greggii* en programas de reforestación para la recuperación de suelos degradados y en programas de plantaciones comerciales en sitios marginales donde no se adaptan otras especies de *Pinus*.

En México es la cuarta especie de pino en términos de importancia en plantaciones del Programa Nacional de Reforestación. En Sudáfrica se han establecido plantaciones con *P. greggii* en localidades con niveles bajos de precipitación pluvial, (Dvorak y Donahue, 1993; Dvorak *et al.*, 1996).

En varias poblaciones del norte de México se han estudiado sus características dasométricas (Curiel, 2005) y la densidad de la madera (López y Valencia, 2001), se han evaluado procedencias en plantaciones experimentales (Valencia *et al.*, 2006), pero no se tiene información sobre características de las traqueidas de esta especie, y esta información es de importancia para los programas de mejoramiento genético, dado que se trata de una característica reportada con alta heredabilidad y amplia variación en otras especies (Zobel y Van Buijtenen, 1989).

Por tanto, surge el interés por realizar un estudio de variación natural de la longitud de traqueidas de cinco procedencias de *Pinus greggii* en poblaciones naturales del Norte de México.

1.1 Objetivo e hipótesis

El objetivo del presente trabajo fue estimar la magnitud y el nivel de variación en largo de traqueidas de la madera tardía de cinco procedencias de *Pinus greggii* del Norte de México.

Las hipótesis propuestas son:

Ho: No existen diferencias entre procedencias, entre árboles y entre anillos en el largo de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* del Norte de México.

Ha: Al menos una procedencia, un árbol o un anillo es diferente en el largo de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* del Norte de México.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Variación natural

Al mismo tiempo que los organismos vivos presentan unidad, presentan también diversidad. La diversidad presente en todas las entidades vivas, en todas las diferencias individuales, es lo que se conoce como variación. La variación es un fenómeno inherente a los seres vivos y fue lo que permitió que las primeras entidades vivas pudieran evolucionar: el efecto histórico de esa singularidad en interacción con la selección natural, es la inmensa diversidad que hoy conocemos (Palmberg, 1987).

La variabilidad dentro y entre especies está determinada por factores como la migración, el aislamiento, el tamaño de la población, el componente genético y la selección debida a diversas condiciones ambientales (Wright, 1964).

Obtener el conocimiento de la variación dentro de una especie es básico para definir los objetivos de programas de mejoramiento genético en árboles. Si la variación encontrada es mínima, las técnicas silvícolas son de mayor preferencia que métodos genético; si la variación entre árboles es significativamente alta, más aun en características de valor económico, es conveniente emplear métodos de selección individual (Yáñez, 1981).

Callaham (1964) menciona que la variabilidad natural se estudia en las características de las hojas, los frutos, la corteza y otros tejidos (traqueidas).

En lo que respecta a *Pinus greggii*, el aislamiento geográfico entre las dos regiones en que se distribuye de manera natural, limita o impide el flujo genético entre ellas y las diferencias edáficas y climáticas entre ambas regiones, esto plantea la posibilidad de que las poblaciones de *P. greggii* se hayan diferenciado genéticamente en cada región. De tal manera se describen a estos ecotipos como variedades distintas, la variedad *greggii* para la región “norte” y la variedad *australis* para la región “sur” (Donahue y López-Upton, 1999).

2.1.1 Importancia y uso

Es importante considerar que la variación genética es de mayor utilidad en programas de mejoramiento genético que utilizan métodos sexuales, ya que esta variación estará representada en la descendencia. El uso de la variación requiere reconocer las características que son variables o diferentes, su magnitud y los patrones de herencia que presentan (Nienstaedt, 1989).

Debido a la gran variabilidad y fuerte heredabilidad que se ha observado en la densidad relativa y en la dimensión de las traqueidas en madera de diferentes especies, son de importancia ya que estas características pueden ser manipuladas genéticamente (Zobel y Jett, 1995).

El uso de la variación requiere conocer las características que son variables, su magnitud de variación y los patrones de herencia. De tal manera, se conoce que todas las características de interés económico son variables, la magnitud de variación establecerá si es conveniente mejorarlas, de la misma manera el método de selección y la posible ganancia a obtener; por otro lado el patrón de variación, limitará el área donde es posible seleccionar los individuos (Nienstaedt, 1989).

Barret (1972) realizó un estudio sobre la variación fenotípica de *Pinus taeda* Schl. et Cham., donde muestreó 10 árboles de 16 procedencias. Estudió las hojas, conos y semillas. Concluye en que algunas características presentan variación clinal de norte a sur o de centro a norte y a sur. Por otro lado otras características obtuvieron variación discontinua sin gradiente definido.

Bermejo (1980) realizó un estudio respecto a la variación morfológica de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *P. pseudostrobus* var. *Oaxacana* Mtz., se consideraron nueve localidades de las cuales se muestreó 10 árboles. Se analizaron características morfológicas de hojas y conos. En los resultados la información obtenida es de diferencias fenotípicas, tanto para la variedad como para la especie, así como las tendencias de los patrones de variación entre todas de las características.

Candelario (1980) estudió la variación en algunas características físicas y mecánicas de la madera de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* y *Pinus patula* Schl. et Cham. en tres localidades muestreando dos árboles en cada una de ellas. Considerando a las especies, localidades, árboles y sus respectivas alturas como fuente de variación. Mediante un análisis de varianza obtuvo que en la mayoría de los casos la variabilidad se atribuyera a las especies.

2.1.2 Mejoramiento genético forestal

El mejoramiento genético es el arte y la ciencia de incrementar el rendimiento o la productividad, la resistencia a agentes abióticos y bióticos adversos, la esbeltez, la calidad o el rango de adaptación de las especies por medio de los cambios en el genotipo de los individuos. Como disciplina científica está basada en las leyes de la herencia, la genética cuantitativa y la genética de poblaciones (Harris, 1970).

En las últimas cinco décadas se comprobó que los árboles tienen la capacidad de transferir características a su descendencia. La capacidad de heredar las características que tienen los árboles a su progenie está íntimamente ligada a la variabilidad que en conjunto presentan las especies (Alba, 2007).

El mejoramiento genético forestal se refiere a las actividades encaminadas a producir árboles genéticamente mejorados, mediante el cruce controlado de individuos superiores. En el mejoramiento forestal se tiene que utilizar lo que existe y lo que se encuentra disponible en la naturaleza (Willian *et al.*, 1993).

Para lograr el mejoramiento genético forestal el reto se encuentra en la formulación de planes a largo plazo, lo suficientemente sólidos y flexibles, en los que se pudiesen incorporar los cambios en los métodos silviculturales y las innovaciones en la técnicas genéticas (Wellendorf y Kaosa-ard, 1988).

2.2 La madera

2.2.1 Anatomía y formación de la madera

La madera es el fruto del crecimiento secundario de las plantas leñosas. Todas las células o fibras, forman un sistema que cumple la función de soportar los esfuerzos a los que se somete el árbol, como las de transporte y reserva de nutrientes (Vignote y Jiménez, 2000).

Al realizar un corte al fuste de una conífera se observan: a) corteza es la parte más externa, áspera y quebrada por lo que el árbol sigue creciendo en espesor pero no la corteza, b) liber o floema es una capa delgada, blanda, cuya función es la conducción de la sabia elaborada, c) cambium es una capa que a simple vista no se puede ver, por lo que está compuesta por células productoras de xilema hacia el centro del árbol y floema hacia la corteza, d) xilema o madera está capa es la más gruesa e interna, cuya función es la de sostén y la conducción de la savia sin elaborar (Vignote y Jiménez, 2000).

Al analizar la madera a través de un microscopio se puede observar que está constituida por células por lo regular alargadas dispuesta en su mayoría en dirección del eje del árbol, y sin contenido protoplasmático. Un porcentaje menor de células tienen forma más o menos rectangulares y están orientadas transversalmente al eje del árbol en una dirección radial y tienen contenido protoplasmático (Vignote y Jiménez, 2000).

2.2.2 Usos e importancia de la madera

Actualmente la humanidad ha utilizado alrededor de 3 400 millones de m⁻³ de madera, de este gran total casi la mitad es consumida en su lugar de extracción, la otra parte es transportada como madera en rollo para un proceso industrial (García-Esteban *et al.*, 2003).

Por lo tanto la madera es el producto forestal más empleado, para la industria como para las comunidades poseedoras de estos recursos, al grado de que el

país no logra cubrir la demanda por lo que es necesario importar la madera que resulta más económico, debido a esto es necesario analizar las características de importancia de las especies locales para producir satisfactores maderables, mediante la exploración y trabajo genético y biológico (Vázquez-Yáñez y Batis, 1996).

2.2.3 Traqueidas

Esau (1976) fue quien introdujo el término de traqueidas, al estudiar las similitudes y diferencias entre éstas y las tráqueas. El género *Pinus* se caracteriza por tener traqueidas y no vasos. De esta manera en las coníferas el 90% de las células son de tipo traqueida, con funciones conductoras y de sostén (Vignote y Jiménez, 2000).

La madera de las coníferas se presenta muy homogénea, por lo tanto la variación en espesor no es muy grande y están ordenadas en series radiales debido a la actividad cambial (Rhot, 1976).

Las traqueidas son elongaciones de células xilemáticas producidas por el cambium vascular, estas se desarrollan principalmente en longitud, son alargadas y con puntas elongadas, presentan membranas transversales con poros areolados (Eguiluz, 1978; Stevenson y Martens, 1980).

La madera temprana está formada por traqueidas con puntuaciones areoladas de reborde amplio situadas en las paredes radiales. La madera tardía está constituida por traqueidas con puntuaciones areoladas de reborde angosto situadas en las paredes tangenciales (Stevenson y Martens, 1980).

2.3 *Pinus greggii* Engelm.

2.3.1 Características generales

El nombre de *Pinus greggii* fue denominado por Engelm., en honor de Josiah Gregg, súbdito alemán que residió en el Norte de México (1835-1944), donde realizó importantes colecciones botánicas (Martínez, 1948).

Es un árbol pequeño de 10 a 25 m de altura, de crecimiento rápido, las hojas son perennifolias. Los conos maduran de noviembre a marzo. Debido a que los conos son serótinicos, pueden permanecer cerrados más de dos años, es posible encontrar conos en cualquier época del año. (Martínez, 1948).

2.3.2. Distribución y ecología

El área de distribución natural conocida de la especie abarca de los 20°13' hasta los 25°29' de latitud norte, una diferencia de un poco más de 5° entre los sitios más alejados. En el extremo norte se ubica la población localizada en Puerto Conejo en los linderos estatales de Coahuila y Nuevo León; en el límite sur se encuentra ubicada en Patoltecoya, en la región norte de Puebla (López *et al.*, 2005).

En el sentido latitudinal es posible distinguir dos grandes áreas en la distribución natural de la especie, separadas por la discontinuidad geográfica que se presenta entre los 21°30' y 24°30' de latitud norte. La región sur incluye 11 poblaciones conocidas en los estados de Puebla, Veracruz, Hidalgo, Querétaro y San Luis Potosí, todas ellas de la var. *australis*, mientras que el sector norte incluye nueve poblaciones naturales conocidas de la var. *greggii* en Nuevo León y Coahuila. La región de Patoltecoya, Puebla, se localiza en el extremo este de la distribución natural, y la del cerro El Penitente en el extremo oeste de Coahuila (López, *et al.*, 2005).

2.3.3 Uso e importancia

Su madera se destina a la industria de la celulosa y el aserrío, para la fabricación de muebles, durmientes, pilotes, vigas, postes para cerca y leña para combustible. También se utiliza como especie ornamental. En algunas localidades se utiliza como árbol navideño (SIRE: CONABIO-PRONARE, 1988).

Es una especie que a logrado importancia a nivel nacional e internacional en países como Brasil, Chile, Colombia, México, Nueva Zelanda y Sudáfrica (Dvorak *et al.*, 2000). Hoy en día se considera importante por su plasticidad genética para adaptarse en suelos pobres, erosionados, con poca profundidad y materia orgánica. Ha demostrado tolerancia a sequia, presenta floración precoz, por tanto produce semilla a temprana edad y rápido crecimiento (SIRE: CONABIO-PRONARE, 1988).

La Cooperativa de Recursos Genéticos de México y América Central (CAMCORE) considera que sus poblaciones tienen algún grado de amenaza, por tanto es incluido en programas de conservación genética *ex situ* (Donahue, 1989).

Muchas de las propiedades importantes de la madera son genéticamente independientes entre sí; de esta forma, pueden tenerse árboles con traqueidas de pared gruesa y con peso específico alto y tener fibras cortas o largas (Zobel y Talbert, 1988).

3 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Se utilizó material de cinco poblaciones donde *Pinus greggii* se distribuye de forma natural, en la subprovincia fisiográfica de la Gran Sierra Plegada, en las localidades: Puerto Conejo, Santa Anita, El Tarillal, Cañón de Los Lirios y Cañón de Jame de Arteaga, Coahuila (INEGI, 2000) (Cuadro 1), (Figura 1).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras para el análisis de la longitud de traqueidas en madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México.

Población	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Puerto Conejo	25°29' 08.736''	100°34' 54.238''	24 20
Santa Anita	25°27' 00.616''	100°34' 10.625''	2480
El Tarillal	25°27' 00.000''	100°31' 00.000''	2500
Cañón de Los Lirios	25°22' 26.639''	100°30' 27.74 5''	2300
Cañón de Jame	25°21' 01.806''	100°35' 36.298''	24 20

Fuente: Curiel (2005).

En estas zonas existe una topografía muy accidentada, en donde se pueden encontrar pendientes de hasta 70% y elevaciones de 1,400 a 3,600 msnm, con exposiciones norte y noroeste (Curiel, 2005).

3.2 Trabajo de campo

Con la ayuda de la Carta Topográfica, escala 1:50,000, se ubicaron las cinco localidades, donde se conoce por trabajos anteriores la localización de las poblaciones naturales de *Pinus greggii*. Se realizó un recorrido de reconocimiento del área, previo a la selección de árboles y obtención de muestras.

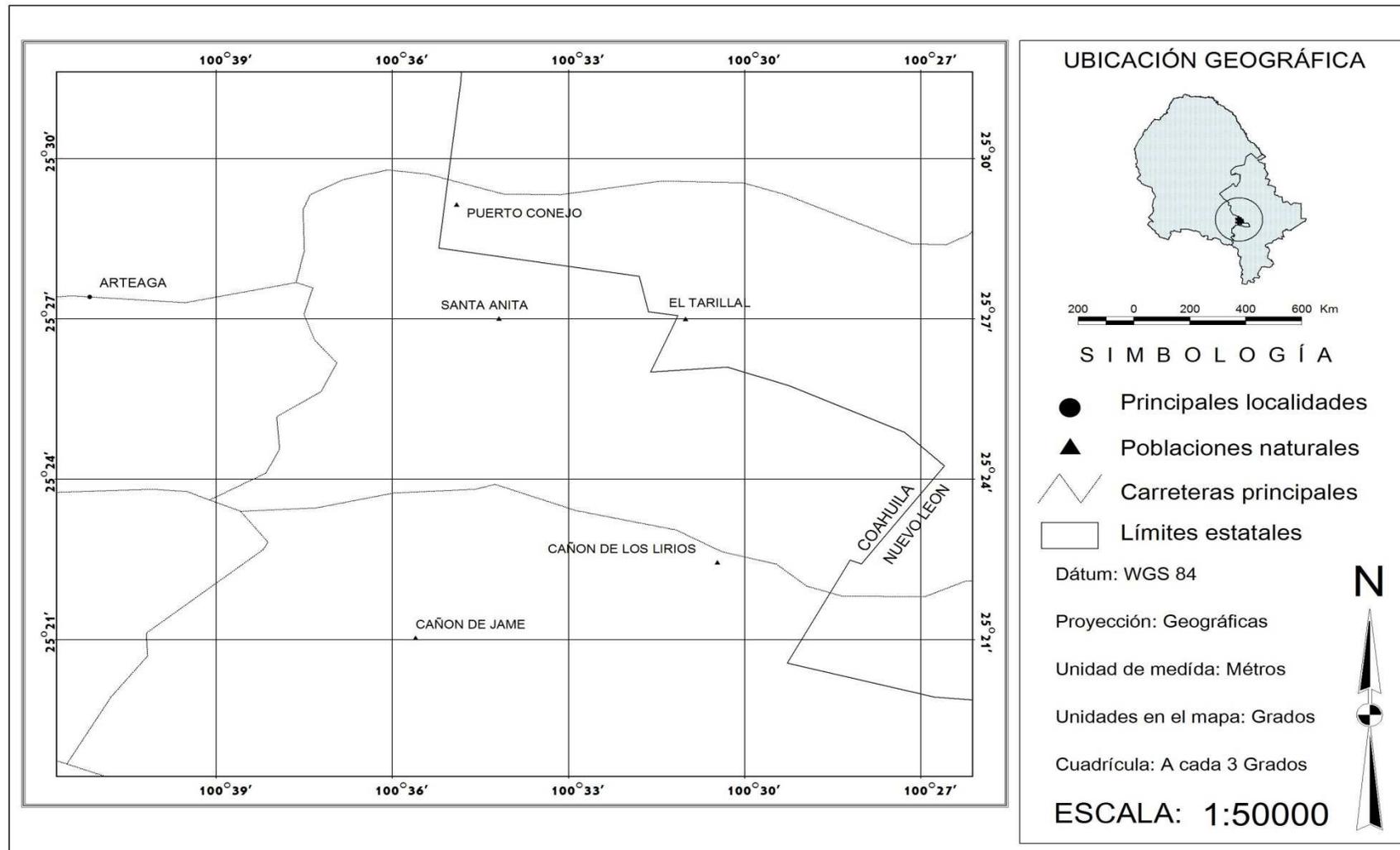


Figura 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras para el análisis de la longitud de traqueidas en madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México (Curiel 2005, modificado por Maldonado 2011).

3.2.1 Diseño de muestreo

De manera totalmente al azar se seleccionaron 10 árboles procurando una distancia mínima de 20 metros entre ellos, los cuales debieron cumplir con un diámetro superior a los 30 cm y de la misma categoría diamétrica, además que estuvieron libres de plagas, de daños naturales y con buena formación física. Por tanto en las cinco localidades se colectó una muestra por árbol, dando un total de 50 muestras de 50 árboles.

3.2.2 Variables registradas

Con la ayuda de un taladro de Pressler de 12 mm de diámetro. Se extrajo de cada árbol una viruta de madera a 1.3 m de altura. Cada muestra se colocó en un trozo de papel aluminio para protegerla, se le asignó una clave con el siguiente orden: Número de árbol y localidad. Las muestras se transportaron al Laboratorio de Anatomía e Histología Vegetal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.3 Trabajo de laboratorio

3.3.1 Preparación del material

Con la ayuda de un bisturí se hicieron cortes longitudinales de tal manera que se obtiene la madera tardía (parte oscura) cada cinco anillos. La parte de mayor interés es la del centro de tal forma que se tuvo mucho cuidado al manejarla y que los cortes fuesen bien hechos, por tanto se empleó un microscopio estereoscópico. Posteriormente se introdujeron las muestras en frascos de vidrio de 10 ml, etiquetados con la clave: número de anillo, número de árbol y localidad.

3.3.2 Disociación de la madera tardía

Para la disociación de la madera se utilizó el método de Franklin, Modificado por Rodríguez (1998). El método consiste en hacer una mezcla de ácido acético glacial y peróxido de hidrógeno al 30%, en partes iguales. La solución a preparar dependió de las muestras a disociar cuando se estaba trabajando. Se colocaron 4 ml de solución, en los frascos con la muestra, tapándose inmediatamente con papel aluminio, haciendo un pequeño orificio para procurar la aireación. Los frascos con la muestra se colocaron en una estufa bacteriológica a una temperatura de 70°C por 24 horas. Continuando con el procedimiento, al término del tiempo de incubación, se lavaron las muestras con agua destilada, para eliminar el exceso de solución, usando una malla para evitar la pérdida del material disociado.

3.3.3 Teñido de fibras

Para el teñido del material disociado se empleó una solución de safranina, que contiene alcohol al 96% y agua destilada. Con el fin de lograr una buena tinción se dejó reposar por 24 horas.

Transcurrido este periodo se volvió a lavar la muestra, evitando al máximo la pérdida de material, por tanto se empleó nuevamente la malla. Para preservar el material se agregó 5 ml de agua destilada y 3 gotas de formaldehído, esto se debe a que el montaje permanente es tardado, por lo que es necesario mantener hidratadas las traqueidas.

3.3.4 Montaje permanente de traqueidas en portaobjetos

Con la ayuda de un microscopio en cada laminilla se colocaron de 20 a 30 traqueidas, alineándolas lo más rápido posible con un asa microbiológica, para evitar la deshidratación de las traqueidas, inmediatamente se agregó una gota de

bálsamo de Canadá disuelto en Xilol, después se colocó rápidamente un cubreobjetos para fijar la preparación. En este caso se etiquetó con la clave: número de anillo, número de árbol y localidad. Para que el tiempo de secado de las laminillas sea más rápido fue necesario colocarlas en la estufa bacteriológica a una temperatura de 45°C por 24 horas. Para evitar daños a las laminillas se colocaron en los estuches porta laminillas.

3.3.5 Medición de dimensiones de traqueidas

Se midió la longitud de las traqueidas, con un microscopio estereoscópico, empleando un objetivo de 1X. Para facilitar la medición se empleó un ocular micrométrico de 10X que cuenta con una reglilla graduada. Se midieron 20 traqueidas por laminilla.

3.3.7 Análisis estadístico

Para conocer un valor del tamaño de muestra, autores como Maldonado (2004) y Cruz (2008) han realizado trabajos donde en cada unidad de muestreo midieron 20 traqueidas como tamaño de premuestreo y considerando un valor de alfa de 0.05 y obtuvieron un tamaño de muestra de 20 con un error de medición entre 2 y 8%, respecto a los valores promedio. Para el cálculo se empleó la fórmula de tamaño de muestra (Cochran, 1980):

$$n = \frac{t^2 S^2}{E^2}$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

t= valor de t, a partir del valor dado de (α)

S² = variación muestral

E= error (unidades de medición)

Al realizarse cálculos a diferentes porcentajes del error permitido (5 %, 10 % y 15 %) se optó por medir un promedio de 20 traqueidas por laminilla, lo que arroja un error del 7 %. Considerando trabajos similares donde se han medido por cada unidad de muestreo el mismo número de traqueidas, ya sea menor o igual de 20 traqueidas (Feria y Eguiluz, 1989; Vaca, 1992; Rodríguez, 1998; Ibarra, 1999; Tinajero, 2004).

Con los datos de las longitudes de las traqueidas se crea un archivo en Microsoft Excel, de tal forma que los datos se agruparon en seis columnas con el orden siguiente: número de localidad, nombre de la localidad, número de árbol, número de anillo, número de traqueida y el valor de longitud de traqueida, después de una revisión exhaustiva se procede al análisis con el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System). Con la ayuda de este programa se corroboraron los datos, se revisó la normalidad para observar si existen datos exagerados o errores y corregirlos, se realizó la conversión a milímetros.

Con los procedimientos de Modelos Lineales Generales (GLM), Componentes de Varianza (varcomp), Medias (means) y un procedimiento donde se puede observar la distribución normal de los datos de longitud de traqueidas de cada anillo, considerando (univariate plot normal) (Martínez, 1983). Así como también una prueba de Tukey de diferencia de medias. Se empleó un análisis jerárquico o anidado para identificar la contribución de localidades, árboles dentro de localidades y anillos dentro de árboles dentro de localidades a la variación total (Snedecor y Cochran, 1982).

Por tanto para realizar el análisis de varianza del largo de traqueidas en madera tardía se empleó el siguiente modelo estadístico (Infante y Zarate, 1990):

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + A_{rbj(L_i)} + A_{nk(jL_i)} + E_{ijkl}$$

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

$j = 1, 2, 3, 4 \dots 10$ (Número de árboles por localidad)

$k = 1, 2, 3, 4 \dots 21$ (Número máximo de anillos por árbol)

$l = 1, 2, 3, 4 \dots 20$ (Número de traqueidas por anillo)

Donde:

μ = efecto de la media general

L_i = efecto de la i -ésima localidad

$Arb_j (L_i)$ = efecto del j -ésimo árbol dentro de la i -ésima localidad

$An_k (Arb_j L_i)$ = efecto del k -ésimo anillo en el j -ésimo árbol dentro de la i -ésima localidad

E_{ijkl} = error aleatorio, que responde al efecto de la i -ésima traqueida en el k -ésimo anillo en el j -ésimo árbol dentro de la i -ésima localidad.

En el análisis de componentes de varianza total que se atribuye a la longitud de traqueidas de madera tardía, con el anterior modelo estadístico, se obtuvieron los cuadrados medios esperados, por el efecto de la localidad, el efecto de árboles dentro de localidades, el efecto de anillos dentro de arboles de las cinco localidades (Cuadro 2).

Cuadro 2. Componentes de cuadrados medios esperados para el largo de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México.

F.V.	G.L	CM	Componentes de los CME
Loc	L-1	CML	$\sigma^2 e + m4 \sigma^2 c + m5 \sigma^2 b + m6 \sigma^2 a$
Arb (Loc)	$\sum a_i - 1$	CMA	$\sigma^2 e + m2 \sigma^2 c + m3 \sigma^2 b$
An (Arb (Loc))	$\sum \sum an_{ji} - 1$	CMAN	$\sigma^2 e + m1 \sigma^2 c$
Error	$(\sum \sum \sum Loc an m) - 1$	CME	$\sigma^2 e$

F.V. = Fuente de variación; G.L. = Grados de libertad; CM = Cuadrados medios; CML = Cuadrados medios de la localidad; CMA = Cuadrados medios del árbol; CMAN = Cuadrados medios de los anillos dentro del árbol; Loc = Localidad; Arb (Loc) = Árboles dentro de localidades; An (Arb (Loc)) = Anillos de los árboles dentro de localidades; a = árboles; an = anillos; n = Número de muestras de cada árbol dentro de las localidades; CME = Cuadrados medios del error; $\sigma^2 e$ = Varianza del error; $\sigma^2 c$ = Varianza de anillos de los árboles dentro de la localidades; $\sigma^2 a$ = Varianza de las localidades; m1, m2, m3, m4, m5, m6 = Constantes de media armónica del número de árboles entre localidades, de anillos dentro de árboles y de muestras dentro de anillos.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Medidas de tendencia central y de dispersión

El valor promedio del largo de traqueidas para *Pinus greggii* en esta región es de 3.363 mm, con un valor mínimo de 1.078 mm y un valor máximo de 4.9 mm, la desviación estándar corresponde a un valor de 0.744 mm, el coeficiente de variación que presentan los datos de las cinco localidades muestreadas es de 22.14 %, resultado de evaluar la longitud de 13,580 traqueidas de madera tardía de esta especie (Cuadro 3).

Cuadro 3. Medidas de tendencia central y dispersión para el largo de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* del Norte de México.

Variable	N	Valor			Desviación estándar (mm)	Error estándar (mm)	C.V. (%)
		Media (mm)	Mínimo (mm)	Máximo (mm)			
L.T.	13580	3.363	1.078	4.9	0.744	0.006	22.14

L.T= Largo de traqueidas; n= Número de observaciones; C.V. (%)= Coeficiente de Variación en porcentaje.

El 65 % de la muestras presentan valores que van de 2.619 mm a 4.107 mm, los cuales se calcularon al sumar y restarle a la media muestral el valor de una desviación estándar (3.363 ± 0.744 mm). A la vez de acuerdo con los intervalos de confianza y un 95 % de confiabilidad la media poblacional se encuentra entre los valores 3.350 mm y 3.376 mm, estos cálculos se obtuvieron mediante la fórmula de intervalos de confianza para el promedio de una distribución normal.

En otros trabajos sobre longitud de traqueidas de otras especies se reportan valores aproximados a los obtenidos en el presente trabajo. Por ejemplo, en *Pinus rudis* Endel. en la Sierra de Arteaga, Coahuila 3.36 mm (Rodríguez, 1998); para *Pinus teocote* Schl. et Cham., en la Sierra de Oaxaca se reporta un promedio de 3.79 mm (Hernández, 1987); en *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. et Golf. 4.411 mm y en *Picea chihuahuana* 3.926 mm (Borja et al., 2000).

En una recopilación realizada por Cevallos y Carmona (1981), para *Pinus greggii* Engelm. se reporta un valor medio de longitud de traqueidas de 3.321 mm, se compara dicho valor con el que se obtuvo en el presente trabajo (3.363 mm), las traqueidas de los árboles de la de la región norte de México, se puede observar que es similar el valor promedio y la diferencia se atribuye a que el número de los árboles muestreados sea diferente.

En la clasificación de longitud de traqueidas presentada por Vignote y Jiménez (1996) para el género *Pinus* (Cuadro 4), el valor promedio obtenido en el presente trabajo (3.363 mm) corresponden a la clasificación de longitud grande.

Cuadro 4. Clasificación de longitud de traqueidas (mm) para el género *Pinus* (Vignote y Jiménez, 1996).

Longitud de traqueidas (mm)	Clasificación
Menor o igual a 2 mm	Longitud pequeña
Entre 2 y 3 mm	Longitud media
Superior a 3 mm	Longitud grande

En comparación con otros trabajos sobre longitud de traqueidas, el valor obtenido en la presente investigación se clasifica en el grupo de longitud grande (Cuadro 5).

Cuadro 5. Clasificación de la longitud de traqueidas de algunas especies de coníferas de acuerdo a la clasificación de Vignote y Jiménez (1996).

Especie	Valor medio (mm)	Longitud			Autor
		Pequeña	Media	Grande	
<i>Pinus greggii</i>	3.363			X	Presente trabajo
<i>Pinus patula</i>	4.298			X	Meza <i>et al.</i> (2005)
<i>Pinus teocote</i>	4.046			X	Maldonado (2004)
<i>Pinus rudis</i>	3.360			X	Rodríguez (1998)
<i>Pinus cembroides</i>	2.190		X		Vaca (1992)
<i>Pinus oocarpa</i>	3.730			X	Feria y Eguiluz (1989)
<i>Abies religiosa</i>	3.755			X	Larios (1979).
<i>Pinus hartwegii</i>	2.441		X		Larios (1979).

Ladrach (1987) y Zobel y Jett (1995) mencionan que las especies de coníferas con una longitud media mayor de 2.5 mm, son excelentes para la fabricación de papel de buena calidad. La resistencia al rasgado se le atribuye principalmente a la longitud de las traqueidas (Larios, 1979). La longitud de la traqueida no es la única característica que determina la calidad de papel, influye también el diámetro, ancho de la pared, ancho del lumen y la densidad de la madera (Tamarit, 1996).

El coeficiente de variación es un estadístico que sirve para representar la variabilidad, en este caso para longitud de traqueidas, cuando se presente una heredabilidad considerable. Respecto al error estándar es un estadístico que permite apreciar y hacer una mejor comparación de la variación, ya que incluye la desviación estándar y el número de muestras utilizadas.

En el presente trabajo para la longitud de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii*, el error estándar tiene un valor de 0.006 mm, al comparar con otros trabajos como por ejemplo; para *Pinus teocote* Schl. et Cham. (0.023 mm) donde las fuentes de variación fueron árboles, alturas de fustes y clases de edad, en la Sierra la Cebolla, Montemorelos, N.L (Maldonado, 2004); en *Pinus cembroides* Zucc., presenta un error estándar de 0.032 mm, tomando como fuentes de variación a los árboles, altura de rodaja dentro de árboles y secciones dentro de rodajas en la región de Santiago Papasquiaro, Durango (Vaca, 1992); en un trabajo realizado por Cruz (2008) para *Pinus herrerae* Mtz., donde el error estándar para la variable longitud de traqueidas fue de 0.014 mm, donde las fuentes de variación corresponden a localidades, árboles dentro de localidades y anillos dentro de árboles dentro de localidades. El largo de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* del Norte de México presenta menor variabilidad, que otros estudios, esto se debe probablemente a la uniformidad de las condiciones ambientales o a la menor variación genética, pero para confirmar esto es necesario realizar estudios de procedencias y progenies.

4.2 Análisis de varianza y componentes de varianza

En el análisis de varianza se encontraron diferencias significativas ($Pr \leq 0.0001$) entre localidades, entre árboles dentro de las localidades y entre anillos de madera tardía de los árboles dentro de las localidades, para la longitud de traqueida.

Para la especie *Pinus patula* Schlttdl. et Cham. se encontró que existen diferencias altamente significativas entre sitios, familias en sitios y árboles (Ortega, 1999). En un trabajo realizado sobre *Pinus herrerae* Mtz., se encontró diferencias entre árboles dentro de sitios, y entre anillos dentro de árboles de cada sitio (Cruz, 2008). Para la especie *Pinus taeda*, en el sur de Carolina del Norte en un estudio de variación de la longitud y diámetro de traqueidas de 20 árboles de 5 sitios, se reporta que las traqueidas de madera temprana son más cortas y estrechas tangencialmente en madera tardía (Wheeler et al., 1996). Eguiluz (1982) realizó un estudio de variación geográfica sobre peso específico y de las dimensiones de traqueidas en *Pinus tecunumanii* de Guatemala, donde encontró que las propiedades de esta especie son altamente variables y principalmente entre árboles. Para la especie *Pinus rudis* Endel. se encontró diferencias entre árboles, altura de rodajas dentro de árboles y secciones dentro de alturas (Rodríguez, 1998).

Se ha reportado que la densidad de la madera y características de las traqueidas presentan diferencias entre especies y entre árboles (Zobel y Talbert, 1988). Tal es el caso de un trabajo reportado por Calixto (1996) para la especie *Pinus herrerae* Mtz., en el que existen diferencias altamente significativas en la longitud de traqueidas entre árboles dentro de sitios pero no entre sitios.

La fuente de variación árbol, es donde se representa un alto índice de variabilidad dentro de una especie y por esto la importancia de conservar o mejorar las especies, en un programa de selección y cruzamiento genético, por lo que a nivel de árbol presenta un porcentaje de variabilidad en la mayoría de sus características (Zobel y Talbert, 1988). Por lo tanto, se deduce que la variación encontrada en las fuentes de variación estudiadas, puede ser por factores

genéticos y el ambiente no condiciona de manera significativa la variabilidad entre árboles dentro de localidades.

Observando los resultados que arroja el análisis de los componentes de varianza estimados respecto al largo de traqueidas, la mayor fuente de variabilidad se encuentra a nivel de anillos dentro de los árboles con un valor de 44.82%, el efecto de los árboles dentro de la localidades es de 11.22%, por último el valor de variación en localidades es el de menor proporción (0.07%) (Cuadro 6).

En un trabajo realizado para tres especies del género *Pinus*, Feria y Eguiluz (1989) reportan que para el largo de traqueidas la variación a nivel de árboles dentro de la especie fue mayor, y el efecto de la especie fue de menor porcentaje, Calixto (1996) observó en *Pinus herrerae* Mtz., de el Salto Durango, que el mayor porcentaje de variación lo representa la fuente árboles dentro de sitios para las variables de longitud de traqueidas y peso específico, para *Pinus rudis* Endel., Yáñez y Caballero (1991), observaron en un estudio de densidad relativa de la madera y longitud de traqueidas de la especie *Pinus strobus* var. *Chiapensis* Mtz., que la mayor variación la contribuye la fuente de variación árboles. Rodríguez (1998), en un trabajo sobre variación del largo de traqueidas dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endel. observó que las diferencias entre secciones dentro de altura de rodaja son superiores (52.7 %), seguido por la diferencias entre altura de rodaja (16.8 %) y por ultimo las diferencias entre árboles (14.8 %). Por otro lado se encontró que en *Pinus herrerae* Mtz., para la densidad de la madera existe mayor variabilidad entre árboles (27.5 %), seguido por la variabilidad entre secciones que contribuye con un 7 % de la variabilidad total y en menor proporción la variabilidad entre localidades (0.4 %) (Hernández, 2007).

En el género *Pinus* las traqueidas de madera temprana y las de madera tardía tienen diferencias en sus características (Daniel *et al.*, 1982), por lo tanto se puede observar este efecto en los resultados de este trabajo y en los trabajos revisados, ya que el largo de la traqueida es influenciado por la edad en que se ha formado la madera (más cercana o mas alejada a la médula del árbol).

Cuadro 6. Análisis de componentes de varianza de la longitud de traqueidas en madera tardía entre árboles dentro de localidades de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México

F.V.	G.L.	CM	CVE	CVE %
Loc	4	24.083	0.0004	0.07
Arb (Loc)	45	22.091	0.0624	11.22
An (Loc*arb)	629	5.231	0.2493	44.82
Error	12901	0.244	0.2441	43.88

F.V.= Fuente de variación; G.L.= Grados de libertad; CM= Cuadrados medios; CVE= Componentes de varianza estimado; CVE%= Componentes de varianza estimado en porcentaje; Loc = Localidad; Arb (Loc) = Árboles dentro de localidades; An (Arb (Loc) = Anillos de los árboles dentro de localidades.

4.3 Variación de las dimensiones longitudinales de traqueidas entre localidades

Al realizar la prueba Tukey de separación de medias demuestra que las localidades Puerto Conejo y Santa Anita son las que presentan una media longitudinal de traqueidas mayor (3.442 y 3.435 mm), de tal manera que estadísticamente se diferencian de El Tarillal (3.373 mm), de Los Lirios (3.326 mm) y de Cañón de Jamé (3.206 mm). A su vez Los Lirios y El Tarillal son diferentes estadísticamente de Cañón de Jamé debido a que presentan una longitud de traqueida mayor (Cuadro 7).

Cuadro 7. Prueba de Tukey para separación de medias entre cinco localidades para la longitud de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. Norte de México.

Localidad	N	Media (mm)	Agrupación Tukey
Puerto Conejo	2580	3.442	A
Santa Anita	3260	3.435	A
El Tarillal	2920	3.373	B
Los Lirios	2420	3.326	B
Cañón de Jamé	2400	3.206	C

n= Número de traqueidas por cada localidad; valor utilizado de $\alpha = 0.05$; Medias con la misma letra son estadísticamente iguales.

En trabajos que se han realizado sobre *Pinus greggii* en la región norte de México, de distintas variables se ha observado que existen diferencias significativas entre localidades, por ejemplo en densidad de la madera la localidad de Santa Anita presenta un mayor valor promedio (0.5884 g cm⁻³), estadísticamente diferente de Cañón de Jamé (0.4766 gcm⁻³), Los Lirios (0.4636 g cm⁻³), y con mayor diferencia de la localidad Puerto Conejo (0.4589 gcm⁻³) (López y Valencia, 2001). Respecto a la diversidad genética entre poblaciones, la que presenta diferencias altamente significativas es la población de Cañón de Jamé (46.7 %) y la que presenta la menor proporción es la población de Los Lirios (20.0 %), por lo tanto existe una diferencia de individuos heterocigóticos en las poblaciones, probablemente como resultado de la deriva genética (Conrado *et al.*, 2002).

4.4 Variación de las dimensiones longitudinales entre árboles dentro de las localidades

La variabilidad encontrada entre árboles es de 11.22 % de la variación total (Cuadro 6). El error estándar estimado de cada localidad se encuentra en los intervalos que van de 0.013 a 0.015, mientras que el coeficiente de variación es similar entre las cinco localidades, de la misma manera que a nivel global (Cuadro 8).

Cuadro 8. Variación de las dimensiones longitudinales entre árboles dentro de las localidades de madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México.

Localidad	n	Valor			Desviación estándar	Error estándar	C.V. (%)
		Media	Mínimo	Máximo			
Puerto Conejo	10	3.442	1.421	4.9	0.754	0.015	21.91
Los Lirios	10	3.326	1.078	4.9	0.682	0.014	20.52
Cañón de Jamé	10	3.206	1.274	4.9	0.731	0.015	22.80
Santa Anita	10	3.435	1.078	4.9	0.763	0.013	22.21
El Tarillal	10	3.373	1.323	4.9	0.755	0.014	22.37

n= Número de muestras de cada localidad (árboles); C. V. = Coeficiente de Variación expresado en (%).

En un trabajo realizado por Ortega (1999), reporta para la variable longitud de traqueidas de *Pinus patula* Schltdl. et Cham., a nivel de familias en sitios existe un coeficiente de variación de 19.59 a 33.88 %, seguido de las familias con un coeficiente de variación de 2.95 a 13.68 %, después los sitios (8.00 a 12.43 %) y por último los árboles con un coeficiente de variación de 10.76 %. Wheeler *et al.* (1995), en un estudio sobre variación de longitud de traqueidas para *Pinus taeda*, encontraron diferencias altamente significativas entre árboles a todas las alturas muestreadas, tanto en madera juvenil como en madera madura (en promedio 3.38 mm y 4.44 mm); y de esta manera concluyen que con el grado de control genético de esta característica, es posible obtener ganancias genéticas. Cuando la variación se debe a árboles dentro de sitios, se atribuye generalmente a efectos de la variación genética (Wright, 1964; Candelario, 1980; Yáñez, 1981).

4.5 Variación de las dimensiones longitudinales entre anillos dentro de los árboles

Para el largo de traqueidas se observa que las longitudes más cortas se encuentran en la parte del centro del árbol (médula), con valores de 2.5 mm, continuando con un patrón que tiende a aumentar hacia la corteza del árbol, con valores superiores a los 3.5 mm (Figura 2).

Se observa que la tendencia incrementa conforme el anillo de crecimiento sea más externo, pero en los anillos 20, 60, 80 y 95 disminuyen en pequeña proporción, por lo que el número de anillos dentro de los árboles de las localidades no es constante. Este patrón se debe al ritmo de crecimiento de los árboles, debido a que en los primeros años se forma la madera temprana, que presenta traqueidas de dimensiones más cortas y paredes delgadas (Daniel *et al.*, 1982).

Respecto a lo anterior no quiere decir que la madera temprano es de mala calidad, pero por sus propiedades físicas y anatómicas es diferente de la madera madura (Zobel y Talbert, 1988).

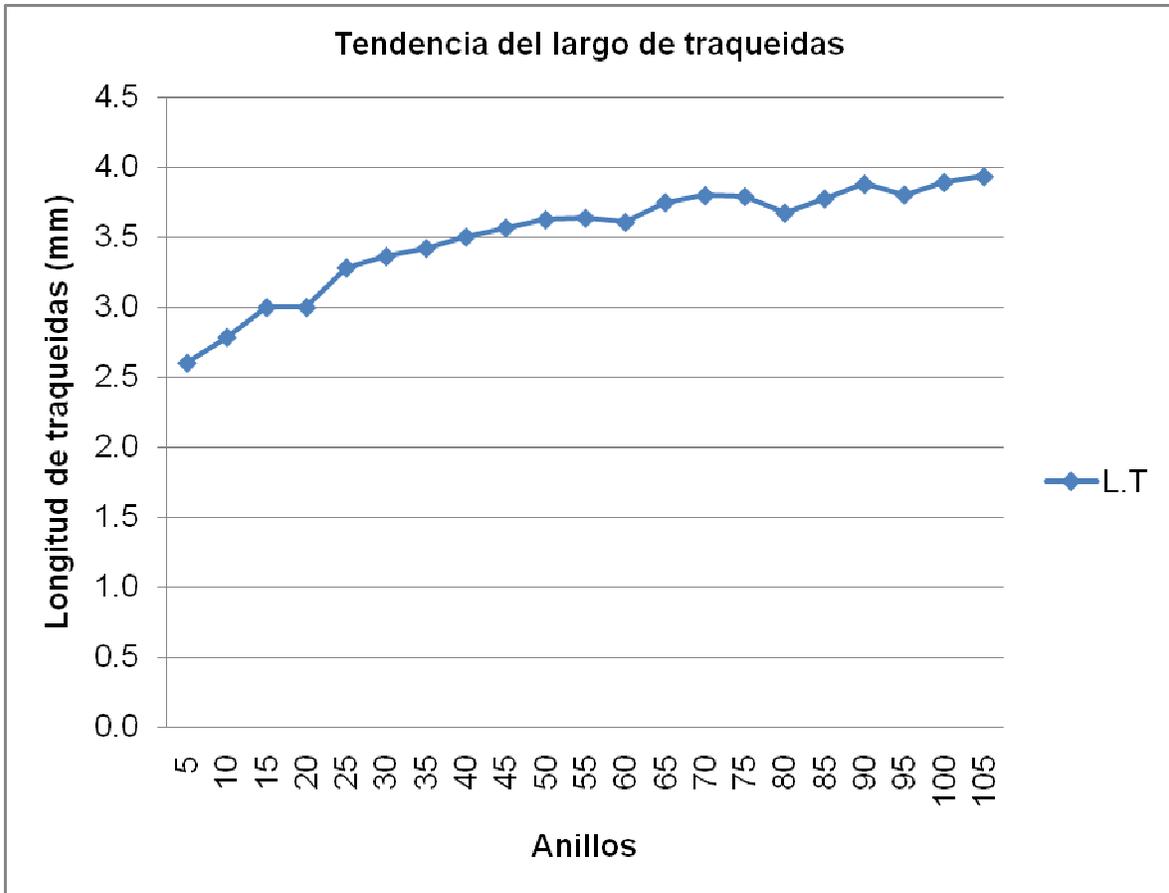


Figura 2. Tendencia de la variación de las dimensiones longitudinales entre árboles dentro de las localidades de madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México.

Este patrón de tendencia del longitud de traqueidas observado en este trabajo se asemeja a al señalado por Zobel y Talbert (1988), así como en otras especies del genero *Pinus*. De igual manera se encontró el mismo patrón en *Eucalyptus globulus* var. *globulus* (Igartúa et al., 2000) y en *Sequoia sempervirens* D. dom Endel. (Orell, 2004).

5 CONCLUSIONES

El presente estudio ha permitido analizar la magnitud de la variación del largo de traqueidas de madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México, utilizando como fuentes de variación a tres localidades, 10 árboles dentro de cada localidad y anillos de los árboles dentro de localidades; de acuerdo a los resultados se concluye:

Las traqueidas de *Pinus greggii* Engelm., de las procedencias estudiadas son de longitud grande.

El largo de traqueidas de madera tardía presentó variación entre procedencias, entre árboles y entre anillos dentro de árboles.

La mayor variación se presentó entre anillos, seguida de la variación entre árboles y en menor magnitud entre procedencias.

Las procedencias Puerto Conejo y Santa Anita presentan la mayor longitud de traqueidas.

La variación encontrada entre procedencias y entre árboles hace posible incluir esta característica para un programa de mejoramiento genético forestal vía selección y cruzamiento.

En relación al eje transversal del árbol, se presentó un patrón de aumento de la médula hacia la corteza

6 RECOMENDACIONES

Realizar estudios de variación del largo de traqueidas en madera tardía en las poblaciones del norte de México que no se incluyeron en el presente trabajo, así como las poblaciones de distribución natural de la parte sur del país.

Realizar estudios de variación de traqueidas en ensayos de procedencia y de progenie para determinar el grado de control genético y ambiental para su posterior inclusión en programas de mejoramiento genético forestal.

Para las actividades que se realizan en el laboratorio es de suma importancia tener en cuenta la protección ayudándose de bata de laboratorio, guantes de látex, cubre bocas, lentes de protección, debido a que las sustancias utilizadas para el disociado, teñido y montaje son corrosivas.

7 LITERATURA CITADA

- Alba, L. J. 2007. Movimiento de especies forestales en el estado de Veracruz, México. Doctorado en Recursos Genéticos Forestal. Instituto de Genética Forestal, Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. México. 97 p.
- Barret, W. H. G. 1972. Variación de caracteres morfológicos en poblaciones naturales de *Pinus taeda* Schl. et Cham. en México. I.D.I.R. INTA. Argentina. 7:9-35.
- Bermejo V., B. 1980. Estudio de la variación de características morfológicas de *Pinus pseudostrobus* Lindl. y *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* Mtz. En Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 93 p.
- Borja de la Rosa, A., J.F. Zamudio S., R. Goche T. 2000. Cinco características de madera de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr et Golf. de una plantación en “La Sabana”, Oaxaca. In: Memorias del III congreso Mexicano Tecnológico de Productos Forestales. Ed. El Consejo de Ciencia y tecnología del Estado de Durango, México. pp. 75-76.
- Calixto T., O. 1996. Variación del peso específico y longitud de las traqueidas de *Pinus herrerae* Mtz. de la región de El Salto, Durango. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 90 p.
- Callaham, R. Z. 1964. Investigación de procedencias: estudio de la diversidad genética asociada a la geografía. *Unasyuva*. 18(2-3): 4-29.
- Candelario R., M. M. 1980. Estudio de la variación de algunas características físicas y mecánicas de la madera de *Pinus ayacahuite* var. *veitchii* y *Pinus patula* Schl. et Cham. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 156 p.

- Cevallos F., S. y T. Carmona V. 1981. Banco de información de estudios tecnológicos de maderas que vegetan en México. INIF-SARH. Catalogo No.2. 70 p.
- Curiel, A. M. 2005. Descripción de 11 poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. var. *greggii* en el sureste de Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. 67 p.
- Cochran G. W. 1890. Técnicas de muestreo. CECSA. México. 513 p.
- Conrado P., L., J. J. Vargas H., P. Ramírez V., H. S. Azpíroz R. y J. Jasso M. 2002. Estructura de la diversidad genética en poblaciones naturales de *Pinus greggii* Engelm. Revista Fitotecnia. México. 25(3): 279-287.
- Cruz A., M. 2008. Variación longitudinal de traqueidas de madera tardía de *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Ciudad Hidalgo, Mich. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. 40 p.
- Daniel, T.W., J.A. Helms y F.S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Editorial McGraw-Hill México, D.F. 492 p.
- Donahue, J. K. y J. López-Upton. 1999. A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in Mexico. SIDA. 18(4): 1083-1093.
- Donahue, J. K. 1989. The CAMCORE closed-conepine seed collections in Central America and Mexico. CAMCORE Bulletin Tropical Forestry. 625 p.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka, J. K. Donahue, G. R. Hodge y T. K. Stanger. 2000. *Pinus greggii*. In: Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. Central America & Mexico Coniferous Resources Cooperative, North Carolina State University, Raleigh, NC. USA. pp. 52-73.
- Dvorak, W. S., J. E. Kietzka y J. K. Donahue. 1996. Three-year survival and growth of provenances of *Pinus greggii* in the tropics and subtropics. Forest Ecology and Management. 83(1-2):123-131.

- Dvorak, W. S. y J. K. Donahue, 1993. Reseña de investigaciones de la cooperativa CAMCORE 1980-1992. Central America and Mexico Coniferous Resources Cooperative. Raleigh, NC. USA. 94 p.
- Esau, K. 1976. Anatomía vegetal. Segunda edición. Ediciones Omega S. A. Barcelona. 779 p.
- Eguiluz, P.T. 1982. Natural variation and taxonomy of *Pinus tecunumanii* from Guatemala. Ph. D. Thesis. North Carolina State University. USA. Raleigh. 74 p.
- Eguiluz, P.T. 1978. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Especialidad en Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 623 p.
- Feria, P., S. T. Eguiluz P. 1989. Variación natural en longitud y dimensiones transversales de traqueidas en *Pinus maximinoi*, *Pinus ocarpa* y *Pinus michoacana* var. *cornuta* de la Sierra Chatina, Oaxaca. In: Memoria del Congreso Forestal. Tom II. Toluca, México. pp. 1030-1061.
- García-Esteban, L., A. Guindeo, C., C. Peraza, O. y P. de Palacios. 2003. La madera y su anatomía. Mundi-Prensa. 327 p.
- Harris, J. M. 1970. Mejoramiento genético para evaluar la calidad de la madera. *Unasyuva* 24(2-3): 32-36.
- Hernández de La C., J. 2007. Variación de la densidad de la madera de *Pinus herrerae* Mtz. en Ciudad Hidalgo Mich. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 55 p.
- Hernández G., A. 1987. Variación de la longitud de las traqueidas de cuatro especies de pino de la Sierra de Juárez, Oaxaca. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Departamento de Bosques. México. 45 p.

- Ibarra G., R. 1999. Variación de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endel. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coah. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. 71 p.
- Igartúa, D.V., M. Rivera, S., G. Monterubbianesi, M., E. Monteoliva, S., S. Farina., L. Carranza, S., S. Villegas, M. 2000. Calidad del leño en *Eucalyptus globulus* var. *globulus*. Variación de la densidad básica y la longitud de la fibra en una estación del sudeste de la provincia de Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional del Mar de Plata, Facultad de Ciencias Agrarias de Balcarce. Argentina. 20 p.
- INEGI. 2000. Carta Topográfica. San Antonio de las Alazanas, G14C38. Escala 1:50,000.
- Infante G., S. y G. P. Zárate de L. 1990. Métodos estadísticos. 2ª edición. Trillas. México. 643 p.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Ministerios de Agricultura. IFIESM. Madrid, España. Tomo I. 675 p.
- Ladrach, W.E. 1987. Calidad de la madera de *Pinus oocarpa*. Investigación Forestal, Informe de investigación No. 116. Smurfit Carton de Colombia, S.A. Cali, Colombia. 7 p.
- Larios S., P. 1979. Índice de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- López U. J., Ramírez H. C., Plascencia E. O., y Jasso M. J. 2005. Variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii* Engelm. Agrociencia. México. 38:457-464.

- López M. L. y S. Valencia M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México. Maderas y Bosques. Instituto de Ecología, A.C, Xalapa, México. 7(1) 2001: 37-47.
- López A., J. L., J. J. Vargas H., C. Ramírez H. y J. López U. 1999. Variación intraespecífica en el patrón de crecimiento del brote terminal de *Pinus greggii* Engelm. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 5(2): 133-140.
- López U., J. y A. Muñoz O. 1991. Selección familiar por tolerancia a sequía en *Pinus greggii* Engelm. I. Evaluación en plántula. Agrocienza, Serie Fitociencia. 2(2): 111-123.
- Maldonado C., R. 2004. Variación de longitud de traqueidas de *Pinus teocote* Schl. et Cham. de la Sierra La Cebolla de Montemorelos, N. L. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 51 p.
- Martínez V. O., 1956. Contribución al conocimiento de la anatomía microscópica de algunas especies de pinos mexicanos. Instituto Nacional de Investigación Forestal. México. 140 p.
- Martínez, M. 1948. Los pinos mexicanos. 2ª. Edición. Editorial Botas. México, D.F. 361 p.
- Meza J. D. J., J. J. Vargas H., J. López U., H. Vaquera-Huerta y A. Borja de la Rosa. 2005. Determinación de la edad de transición de madera juvenil a madura en *Pinus patula* Schl et Cham. Ra Ximhai 1(2):305-324.
- Nienstaedt, H. 1989. Importancia de la variación natural. Curso de mejoramiento genético forestal. Centro de genética Forestal, A. C. Chapingo, Estado de México, Mex. pp. 18-25.

- Orell A. M del C. 2004. Estudio del largo de traqueidas en *Sequoia sempervirens* D. don Endel. crecida en Chile, con respecto a su distribución en el árbol. Universidad de Chile. Facultad de Ciencias Forestales 97 p.
- Ortega, F. E. 1999. Densidad relativa y longitud de traqueidas en cinco familias de *Pinus patula* Schl. et Cham. de diferentes sitios. Tesis profesional. Universidad Veracruzana. Instituto de Genética Forestal. Xalapa, Ver. México. 58 p.
- Palmberg, C. 1987. Creation of new forest resources. Paper presented for: Planning National Programmes for Wood Based Energy. Italy 26 Oct. – 5 Nov. 1987. GCP/INT433/ITA. 20 p.
- Perry Jr., J, P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Editorial Timber Press, Portland, Oregon, USA. 2331 p.
- Rodríguez, V. E. 1998. Variación del largo de traqueidas dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endel. En Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. 52 p.
- Roth, I. 1976. Anatomía de las plantas superiores. Universidad Central de Venezuela. Ediciones de la Biblioteca. Caracas, Venezuela. 357 p.
- SIRE: CONABIO-PRONARE. 1988. *Pinus greggii* Engelm. Gaceta de la Red Mexicana de germoplasma forestal. SIRE: Paquetes tecnológicos. 7 p.
- Snedecor, G.W. y W.G. Cochran. 1982. Métodos estadísticos. 6ª. Edición CECSA. México, D. F. pp. 35-58.
- Stevenson. F., F. y T. R. Martens. 1980. Anatomía Vegetal. Editorial Limusa. México. 209 p.
- Tamarit U., J. C. 1996. Determinación de los índices de calidad de la pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. Maderas y Bosques. 2(2):29-41.

- Tinajero, N. 2004. Variación de dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía en *Pinus teocote* Schl. et Cham. de Montemorelos, Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah., México. 58 p.
- Vaca G., A. 1992. Variación en el peso específico de la madera y longitud de traqueidas dentro de *Pinus cembroides* Zucc. del la región de Santiago Papasquiaro Dgo. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 88 p.
- Valencia M., S., M. V. Velasco G., M. Gómez C., M. Ruíz M. y M. A. Capó A. 2006. Ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en dos localidades de la Mixteca Alta Oaxaqueña, México. Revista Fitotecnia Mexicana. 29 (001): 27-32.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1991. Potencial hídrico, transpiración y resistencia estomatal en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. Agrociencia, Serie Recursos Naturales Renovables. 1(3):25-38.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequía: II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. Agrociencia. 72: 197-208.
- Vázquez-Yáñez, C., y Batis, A. I. 1996. La restauración árboles exóticos contra árboles nativos. Ciencias 43: 16-23.
- Vignote S. F. y Jiménez P. F. J. 2000. Tecnología de la madera. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid España. 653 p.
- Vignote S. F. y Jiménez P. F. J. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid España. 602 p.
- Wellendorf, H. y Kaosa-ard, A. 1988. Teak improvement strategy in Thailand. *Forest Tree Improvement*, Arboretet, Horsholm. No. 21. 43 p.

- Wheeler, E. Y., Zobel, B. J. and D. L. Weeks. 1996. Tracheid length and diameter variation in bole of loblolly pine. TAPPI 49(11): 484-490.
- Willian R. L., Olesen K. Y., Barner H. 1993. Natural variation as a basis for tree improvement. Danida Forest Seed. Centre. Humlebaek Denmark. Lecture note. No. A-3. 14 p.
- Wright, J. W. 1964. Mejoramiento genético de los árboles forestales. FAO. Estudios de silvicultura y productos forestales. Roma. No. 16. 436 pp.
- Yáñez, M. O. 1981. Estudio de la variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. de tres localidades de su distribución natural. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Mex. 173 p.
- Yáñez, M. O. y M. Caballero D. 1991. Variación de algunas características de *Pinus strobus* var. *chiapensis* Mtz. de tres localidades de su distribución natural: densidad relativa y longitud de traqueidas de la madera. Revista Chapingo. Chapingo, Mex. 15(75): 18-24.
- Zobel, J.B. 1985. Juvenile Wood in tropical forest plantations: its characteristics and effect on the final product. CAMCORE. Bulletin on Tropical Forestry. North Carolina State University. USA. 2: 1-19
- Zobel, J.B. y J. B. Jett. 1995. Genetics of Wood production. Springer-Verlag Series in Wood Science, Berlin. 337 p.
- Zobel, J. B. y J. P. Van Buijtenen. 1989. Wood Variation: its causes and control. Springer- Verlang. Germany. 363 p.
- Zobel, J.B. y T.J. Talbert. 1988. Técnica de mejoramiento genético de árboles forestales. Editorial Limusa. México. 545 p.