

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Variación de Dimensiones Transversales en Traqueidas de Madera Tardía en Cinco Poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México

Por:

MARÍA DE LOS ÁNGELES ARTEAGA REMIGIO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Variación de Dimensiones Transversales en Traqueidas de Madera Tardía en Cinco Poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México

Por:

MARÍA DE LOS ÁNGELES ARTEAGA REMIGIO

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


INGENIERO FORESTAL

Aprobada


M.C. Salvador Valencia Manzo
Asesor Principal




Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga
Coasesor


M.C. Laura María González Méndez
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de la División de Agronomía



Coordinación
División de Agronomía
Saltillo, Coahuila, México

DEDICATORIAS

A mi Madre:

Con cariño y respeto gracias por haberme dado la vida, por el gran esfuerzo y valor que tuvo, por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, en toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo perfectamente mantenido a través del tiempo. Todo este trabajo ha sido posible gracias a ella. TE AMO

A mi hermana Irma Arteaga Remigio:

Por todo el apoyo que siempre me brindó y la confianza, para que terminara mi carrera. GRACIAS TE QUIERO MUCHO.

A mis hermanos (as): José, Efraín, Pedro, Angélica, Elizabeth, Diana Laura, Daniela

Por el apoyo brindado y los ánimos de salir adelante y nunca darme por vencida gracias.

A mis sobrinos (as).

José Francisco, Jesús Antonio, Ahslyn Sofía, Dulce Guadalupe, Juan José y Cristal Mariel que son la alegría de la casa los quiero mucho.

A mis cuñadas (os):

Jesús Estrada, Wendy Rodríguez y Alejandra Custodio, que ya son parte de la familia por el apoyo que algún momento me dieron gracias.

A mi novio Omar Rueda Moreno por todos los momentos, que ha pasado a mi lado y por estar siempre conmigo siempre en los momentos más difíciles, gracias te amo.

A mi familia Arteaga Remigio que siempre estamos juntos a pesar de las adversidades de la vida y nunca rendirnos ante nada.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la oportunidad de vivir y haberme permitido terminar mis estudios de licenciatura.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por haberme dado la oportunidad de terminar mis estudios como Ingeniero Forestal y por todos los servicios que me brindaron durante mi formación.

A los profesores del Departamento de Forestal, por su contribución en mi formación durante la carrera.

Al M. C. Salvador Valencia Manzo, por su gran apoyo y dedicación para la realización del trabajo para llevarlo a cabo. Gracias por su amistad y comprensión.

Al Dr. Miguel Ángel Capó Arteaga, por su asesoría en la revisión de este trabajo.

A la M. C. Laura María González Méndez, por su asesoría, y apoyo en el laboratorio con el trabajo de las muestras.

A la Dra. Francisca Ramírez Godina por su apoyo y dedicación en la medición de las muestras.

A la T. A Angélica Martínez Ortiz por su apoyo en el laboratorio con el trabajo de las muestras

A la T. A. Leticia Portos Gaona por su apoyo y colaboración en el trabajo del laboratorio y medición de las muestras.

Al Departamento de Botánica, por apoyarme con el laboratorio, y espacio de trabajo.

Al Departamento de Fitomejoramiento, por apoyarme con el Laboratorio de Citogenética para que pudiera realizar las mediciones de las muestras.

A mis amigos que me apoyaron en el laboratorio: Alfredo Arellano, Omar Rueda, Eric Santiago.

A la Unidad de Manejo San Juanito A.C por darme la oportunidad de realizar mis prácticas profesionales.

A mis amigos que siempre estuvieron conmigo, por sus consejos y apoyo siempre estarán en mi corazón gracias: Omar Rueda, Eric Santiago, Lupita Garay, Fidel Cruz, Jesús Maldonado, Maritza Arteaga, Hermelinda Salgado, Esteban Torres, Ana Loera, Gabriela Zavala.

A mis compañeros de generación CXV que en algún momento me apoyaron y me dieron sus consejos: Omar, Eric, Hernán, Maximiliano, Carmen, Mirna, Paola, Valentín, Adarcilio, Néstor, Mauricio, Emmanuel, Evelio, Sergio, Jorge, Jessica, Pamela, Sintia, Alfredo, Leydi, Amanda.

Todos los amigos que conocí aquí en la Universidad gracias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivos.....	1
1.2 Hipótesis.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 <i>Pinus gregii</i> Engelm.....	3
2.1.1 Importancia ecológica y económica	3
2.1.2 Distribución.....	3
2.2 La madera	4
2.3 Traqueidas.....	4
2.3.1 Importancia de las dimensiones transversales.....	5
2.4 Índices de calidad de pulpa	5
2.5 Variación y mejoramiento genético forestal	5
III. MATERIALES Y MÉTODOS	6
3.1 Descripción del área de estudio	6
3.2 Trabajo de campo.....	7
3.2.1 Diseño de muestreo	9
3.2.2 Variables registradas.....	9

3.3 Trabajo de laboratorio	9
3.3.1 Preparación del material	9
3.3.2 Disociación de la madera tardía	9
3.3.3 Teñido de fibras.....	10
3.3.4 Montaje permanente de traqueidas en portaobjetos	10
3.3.5 Medición de las traqueidas.....	11
3.4 Análisis estadístico	11
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	12
3.1 Medidas de tendencia central y de dispersión.....	12
3.1.1 A nivel general.....	12
3.1.2 Dentro de localidades.....	17
3.2 Análisis de varianza y de los componentes de varianza	19
3.2.1 Diferencias entre localidades	20
3.2.2 Diferencias entre árboles	24
3.2.3 Diferencias entre anillos	24
3.3 Correlación entre variables.....	27
V. CONCLUSIONES	29
VI. RECOMENDACIONES.....	29
VII. LITERATURA CITADA	30

ÍNDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras para el análisis de las dimensiones transversales de traqueidas en madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. Del Norte de México.	7
Cuadro 2. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del norte de México.	13
Cuadro 3. Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas de algunas especies de coníferas de acuerdo con la clasificación de Ortega et al. (1988).	14
Cuadro 4. Índices de calidad de pulpa de las dimensiones transversales en traqueidas.	16
Cuadro 5. Componente de variación de diferentes especies de las dimensiones transversales en traqueidas	16
Cuadro 6. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del norte de México.	17
Cuadro 7. Análisis de los componentes de varianza estimados de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de <i>Pinus greggii</i> Engelm. Del norte de México.	20
Cuadro 8. Prueba Tukey para separación de medias de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del norte de México.	22

Cuadro 9. Prueba Tukey para separación de medias de los Índices de Calidad de pulpa de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. 23

Cuadro 10. Medidas de tendencia central entre poblaciones de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México..... 24

Cuadro 11. Resultados de la correlación de las de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. ... 27

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras para el análisis de las dimensiones transversales de Traqueidas en madera tardía de <i>Pinus greggii</i> Engelm. (Curiel 2005).....	8
Figura 2. Tendencia de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del norte de México.	26
Figura 3. Tendencia de las dimensiones transversales del grosor de pared celular, de cinco poblaciones de <i>Pinus greggii</i> Engelm. del norte de México.	26

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo estimar el nivel de variación de dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* del Norte de México.

Se emplearon muestras de madera de árboles de cinco localidades: Puerto Conejo, Santa Anita, El Tarillal, Cañón de Los Lirios y Cañón de Jamé. En cada localidad se eligieron al azar 10 árboles, con una distancia mínima de 20 metros entre cada uno. De cada árbol se extrajo una viruta de madera, con un taladro de Pressler de 12 mm de diámetro a 1.30 m de altura. En el laboratorio se hicieron cortes longitudinales para obtener la madera tardía cada cinco anillos. Se utilizó el método de Franklin modificado por Rodríguez (1998), para el disociado de la madera, 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 el ancho de pared, grosor de lumen y ancho de lumen, con la ayuda de un microscopio integrado con cámara y el programa Axió Vision Rel 4.5 y se determinaron tres índices de calidad de pulpa: Coeficiente de flexibilidad, relación de Runkel y coeficiente de rigidez. Se realizaron análisis estadísticos para estimar el nivel de variación de tres fuente: efectos de localidad, de árboles y de anillos, se realizaron pruebas de Tukey y análisis de correlaciones.

Los resultados mostraron diferencias en los tres niveles de estudio. La mayor fuente de variación fue debido anillos, después árboles y por último localidades. De acuerdo con los índices empleados las traqueidas se clasifican como muy buenas para producir papel, con un grado de calidad II. La localidad Santa Anita presentó las traqueidas con mejores características.

Palabras clave: ancho de traqueida, ancho de lumen, grosor de pared, Madera tardía, traqueidas, *Pinus greggii*, Variación, índices de calidad.

I. INTRODUCCIÓN

En *Pinus gregii* Engelm. se han realizado estudios de diversos tipos, entre ellos ensayos de procedencias, pruebas de progenie, de resistencia a la sequía, de variación genética, de variación natural en características morfológicas de conos y semillas e incluso de la densidad de la madera. Pero no se cuenta con información de la variación de las dimensiones transversales en traqueidas de esta especie.

La variación natural es la materia prima del mejoramiento genético forestal, sin variación en la adaptabilidad a condiciones ambientales, en la velocidad de crecimiento, en las características de la madera o en la resistencia frente a enfermedades, no sería posible producir genotipos con crecimiento rápido, además de que sean resistentes a plagas y enfermedades y que tengan buena adaptación a las condiciones ambientales (Nienstaedt, 1990).

La meta de un programa de mejoramiento genético es aumentar la frecuencia de los mejores genotipos y/o producir genotipos nuevos con mejores combinaciones de genes (Nienstaedt, 1990).

Una de las características de la madera más estudiadas es la densidad o peso específico, probablemente por la aparente sencillez de su determinación. Por otra parte se considera que la variación natural es la materia prima del mejoramiento genético forestal; sin ésta no sería posible producir genotipos con crecimiento rápido, resistentes a plagas y enfermedades y bien adaptadas a condiciones ambientales adversas (Nienstaedt, 1990).

Así como la densidad de la madera, existen otras características que hacen referencia a la calidad de la madera, unas de ellas son las dimensiones de las traqueidas, dado que tienen importancia económica por sus efectos sobre las características del papel e influyen sobre la resistencia de los productos de la madera sólida.

1.1 Objetivos

El objetivo general del trabajo es el siguiente:

Estimar el nivel de variación de dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* del Norte de México.

Los objetivos específicos son:

Evaluar si existen diferencias entre las poblaciones, entre árboles dentro de poblaciones y entre anillos de crecimiento dentro de cada árbol de cada población para las dimensiones transversales de traqueidas de y tres índices de calidad de pulpa para papel.

Determinar si existe correlación entre las dimensiones transversales y los índices de calidad de la madera en traqueidas del norte de México.

1.2 Hipótesis

Las hipótesis nulas propuestas en el presente trabajo son las siguientes:

Ho: No existen diferencias en las dimensiones transversales de traqueidas entre diferentes poblaciones.

Ho: No existen diferencias en las dimensiones transversales de traqueidas entre árboles dentro de poblaciones.

Ho: No existen diferencias en las dimensiones transversales de traqueidas entre anillos de crecimiento dentro de cada árbol.

Ho: No existe correlación en las dimensiones transversales de traqueidas de *Pinus greggii* y entre los índices de calidad de pulpa para papel.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 *Pinus greggii* Engelm.

2.1.1 Importancia ecológica y económica

Pinus greggii Engelm es una especie endémica de México con gran importancia ecológica y económica (Donahue y López *et al.*, 1999), la especie es uno de los componentes estructurales clave en las comunidades en las que crece, ya que forma parte del dosel dominante y en muchos de los casos es la única que representa el estrato arbóreo. Por lo tanto en los ecosistemas forestales en que se desarrolla, diversas plantas herbáceas y arbustivas dependen del microambiente que genera este árbol (Donahue y López *et al.*, 1999)

Por otro lado a nivel regional, *P. greggii* es uno de los árboles de mayor valor económico para las poblaciones humanas que habitan en las zonas aledañas. Se aprovecha para la obtención de madera para la industria de aserrío, y localmente en la obtención de postes para cerca y leña combustibles. Además *P.greggi* ha mostrado altas tasas de crecimiento en altura y diámetro en ensayo de plantaciones (López *et al.*, 2000), así como un gran potencial para adaptarse a condiciones limitantes de humedad (Vargas y Muñoz 1988,1991; López y Muñoz 1991).

2.1.2 Distribución

Se distribuye en poblaciones aisladas a lo largo de la Sierra Madre Oriental en zonas templadas, semiáridas y a veces semitropicales y se presenta de manera natural en los estados de Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Querétaro y Veracruz (Perry, 1991).

Generalmente se encuentra asociado con *Quercus*, *Platanus*, *Liquidámbar*, *Fraxinus* y otros pinos como *Pinus patula*, *P. pseudostrobus*, *P. teocote*, *P. montezumae*, *P. arizonica* var. *Stormiae*; *P. cembroides* y otras gimnospermas como *Juniperus fláccida* en sitios secos; y a mayores alturas, con *Abies vejarii*, *Pseudotsuga mezesii* y *Cupressus lusitanica* (Farjon y Styles ,1997).

2.2 La madera

La madera es un material de naturaleza orgánica muy compleja y por lo tanto, difícil de entender y usar adecuadamente, sin embargo, la anatomía de madera es de la más sencillas, consta de células más o menos puntiagudas llamadas traqueidas: algunas de ellas tienen células de diámetros grandes y paredes de menor grosor y forma la madera temprana y otras tienen células de menor dimensión y paredes más gruesas, lo que le da mayor densidad y resistencia, además de un color más oscuro y forman la madera tardía (Robles y Echenique, 1989).

Las diferencias en las propiedades de la madera tienen un efecto importante sobre la calidad y rendimiento de la pulpa y los otros productos de papel, así como también en la resistencia y utilidad de los productos sólidos de madera (Zobel y Talbert, 1988).

2.3 Traqueidas

Las traqueidas son células largas de paredes gruesas y su función en la madera es de sostén y conducción, con extremos afilados y paredes porosas sin perforaciones reales. (Padilla 1982).

Estas células son prosenquimatosas, es decir, se desarrollan especialmente en longitud, son alargadas y con puntas elongadas, membranas transversales con poros areolados con un diámetro que varía de 20 a 44 micras y un diámetro promedio de 32 micras en los gimnospermas (Eguiluz, 1978; Ruiz, 1979; Padilla, 1987).

2.3.1 Importancia de las dimensiones transversales

La importancia que tienen estas en las dimensiones transversales radica en que contribuyen de manera positiva o negativamente en el tipo y calidad de papel producido, además, determinan si es una especie adecuada para producir pulpa de una determinada calidad. (Tamarit, 1996).

2.4 Índices de calidad de pulpa

Los índices de calidad de pulpa constituyen una magnífica ayuda para saber lo que se puede esperar al emplear tal o cual madera. Estos índices proporciona diferentes relaciones entre las dimensiones de las fibras, las cuales influyen de manera directa, indirecta o bien complementaria sobre las características generales de la pulpa, tales como la densidad, volumen y resistencia al paso del agua y del aire, resistencia a la tensión, a la explosión al rasgado y a las propiedades que determinan la impresión. Es decir, las relaciones entre las dimensiones de las fibras contribuyen favorable o adversamente en el tipo y en la calidad de papel producido (Tamolang y Wangaar, 1961).

Los índices más comunes e importantes son, Coeficiente de Rigidez, Coeficiente de Flexibilidad, Relación de Runkel.

2.5 Variación y mejoramiento genético forestal

La variación natural es la materia prima del mejoramiento genético forestal; sin ésta no sería posible producir genotipos con crecimiento rápido, resistentes a plagas y enfermedades y bien adaptadas a condiciones ambientales adversas (Nienstaedt, 1990). En los árboles forestales se estudian diferentes niveles de variación en los bosques, tales como orígenes geográficos (procedencias), rodales, sitios, árboles y dentro del árbol (Zobel y Talbert, 1988).

Carreño (1973) realizó un estudio de análisis de crecimiento de una plantación en Tlalmanalco, Méx. Después de 20 años de establecidas las especies: *Abies religiosa*, *Pinus ayacahuite* Schl., *P. montezumae* Lamb. y *P. patula* Schl. & Cham., se concluyó que la primera no es apta a las condiciones del sitio, al presentar los valores más bajos de crecimiento.

Herrera (1998) menciona que con el objeto de determinar los hábitos de crecimiento de familias de *C. guadalupensis*, conservar la especie y observar el grado de adaptación y ritmo de crecimiento, se establece un huerto semillero en el Campo Experimental San Martín de la Universidad Autónoma Chapingo en 1997.

Al año se encontró que la altura total presentó diferencias significativas bajo las pruebas de Duncan y Tukey. Se midió también el diámetro a 20 cm pero las diferencias no fueron significativas. En este huerto, *C. guadalupensis* presentó buena resistencia al ambiente, mostrando buen desarrollo en altura total (15 a 20cm) (Herrera, 1998).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Descripción del área de estudio

Se utilizó el material de cinco poblaciones de *Pinus greggii* donde se distribuye de manera natural, en la subprovincia fisiográfica de la Gran Sierra Plegada, de las localidades: Puerto Conejo, Santa Anita, El Tarillal, Cañón de Los Lirios y Cañón de Jamé de Arteaga, Coahuila. *Pinus greggii* Engelm. Norte de México (Cuadro 1)

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

Población	Latitud	Longitud	Altitud (msnm)
Puerto Conejo	25° 29'08.76"	100° 34' 54.238"	2420
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°30'27.745"	2300
Cañón de Jamé	25°21'01.806"	100°35'36.298"	2420

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

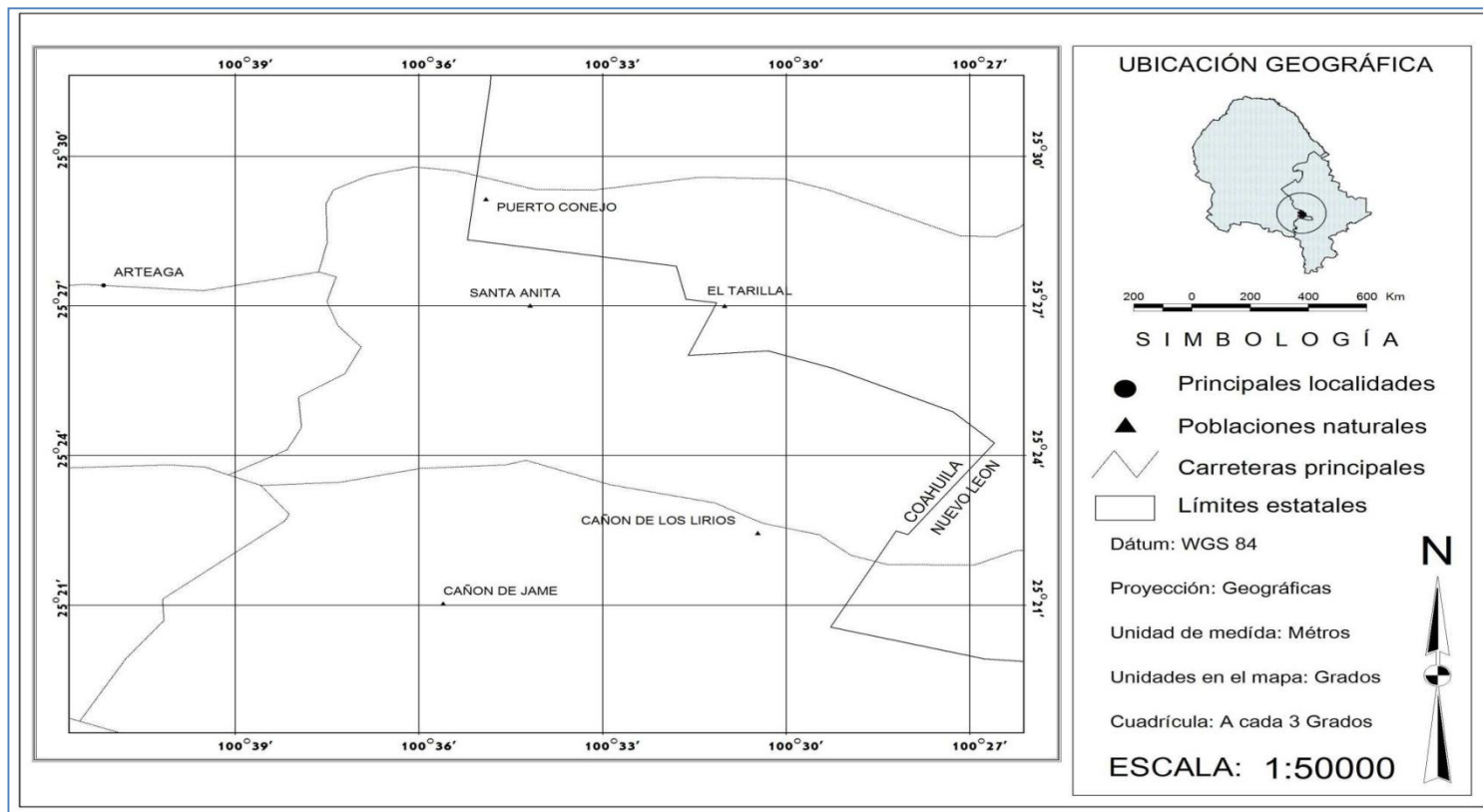


Figura 1. Ubicación geográfica de las cinco localidades donde fueron colectadas las muestras para el análisis de las dimensiones transversales de Traqueidas en madera tardía de *Pinus greggii* Engelm. (Curiel 2005)

3.2.1 Diseño de muestreo

Se seleccionaron de manera al azar 10 árboles con una distancia mínima de 20 metros entre cada uno de ellos, los cuales debieron cumplir con un diámetro superior a los 30 cm y de la misma categoría diamétrica, además que estuvieran libres de plagas, daños naturales y con buena formación física. En las cinco localidades se colectó una muestra por árbol, obteniendo un total de 50 muestras de 50 árboles.

3.2.2 Variables registradas

Con 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, también 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 un bisturí se hicieron cortes longitudinales de la viruta de tal manera que se obtiene la madera tardía (parte oscura) el corte se realizó 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, para lo cual 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. Se colocaron 4 ml de solución, en los frascos en los cuales contenía la muestra, tapándose inmediatamente con papel aluminio, y haciendo un orificio para procurar la aireación. Posteriormente 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

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 un microscopio, se colocó en cada laminilla de 20 a 30 traqueidas, alineándolas lo más rápido posible con un asa microbiológica, para evitar la deshidratación de las traqueidas, posteriormente se agregó una gota de 14 bálsamo de Canadá disuelto en Xilol, después se colocó rápidamente un cubreobjetos para fijar la preparación. Finalmente 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 las traqueidas

Se midió el ancho de traqueida (A.T), el ancho del lumen (A.L) y el grosor de la pared celular (G.P) que corresponden a las dimensiones transversales de las traqueidas. Para realizar las mediciones se utilizó un microscopio con cámara integrada, empleando un objetivo de 40X. Con este microscopio tomamos una foto de la traqueida en la cual se pueda visualizar y observar una mejor claridad para cada una de las variables a medir, posteriormente guardamos la imagen. Después abrimos el programa Axion Visión Rel 4.5 para hacer la medición de las traqueidas. Por lo cual se medirán 20 traqueidas por laminilla.

3.4 Análisis estadístico

Maldonado (2011) estimó el tamaño de muestra para el estudio de largo de traqueidas en 20 traqueidas en cada anillo, con un error de muestreo entre 2 y 8%, respecto a los valores promedio. Para ello empleó la siguiente fórmula general (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)

El presente estudio se realizó sobre las mismas muestras, de manera que no se calculó el tamaño de muestra. La estimación de error de muestreo sobre tres anillos aleatorios con la variable ancho de traqueida fue: 3.67 al 4.50 %.

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

Todos los datos que se obtuvieron en el laboratorio de ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared fueron capturados en una hoja de Excel y posteriormente procesados mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Medidas de tendencia central y de dispersión

3.1.1 A nivel general

Los resultados promedio para las variables que se estudiaron fueron los siguientes: ancho de traqueidas 30.71 micras, ancho de lumen 23.54 micras y grosor de la pared celular 3.58 micras (Cuadro 2). De acuerdo a la clasificación de Ortega *et al.* (1988) se trata de traqueidas extremadamente anchas de diámetro, lumen extremadamente ancho y grosor de la pared celular mediano (Apéndice 1).

Cuadro 2. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

Variable	N	Valor			Rango	Desviación Estándar (micras)	Error Estándar	C.V (%)
		Media (micras)	máximo (micras)	Valor mínimo (micras)				
A.T	1337 5	30.71	50.41	12.44	37.97	5.46	0.0472	17.79
G.P	1337 5	3.58	6.9	1.27	5.63	0.8	0.0069	23.31
A.L	1337 5	23.54	43.02	7.42	35.6	5.2	0.0449	22.09
C.R	1337 5	0.23	0.49	0.09	0.41	0.05	0.0004	23.85
C.F	1337 5	0.76	0.9	0.5	0.41	0.05	0.0004	7.45
R.R	1337 5	0.32	0.98	0.1	0.88	0.1	0.0009	32.66

A.T. = Ancho de traqueida; A.L. = Ancho de lumen; G.P. = Grosor de la pared; C.R.= Coeficiente de rigidez; C.F. = Coeficiente de flexibilidad; R.R. = Relación de Runkel; n = Número de observaciones; C.V. = Coeficiente de variación

De acuerdo con la distribución normal la media más menos una desviación estándar se estima el 68 % de la población (Wayne, 2009). Así para este estudio se tiene que el 68 % de las traqueidas se encuentran entre 25.25 y 36.17 micras; 2.78 y 4.38 micras; 18.34 y 28.74 micras, para el ancho de traqueidas, grosor de pared y ancho de lumen, respectivamente.

El valor de la media poblacional con un 95% de confianza está entre 30.76 y 30.66 micras; 3.59 y 3.57 micras; y 23.58 y 23.49 micras, para el ancho de traqueidas, grosor

de pared y ancho de lumen, respectivamente, de acuerdo con el procedimiento para estimar la media poblacional (Wayne, 2009).

Si se comparan estos resultados con otros estudios y de acuerdo a la clasificación de Ortega *et al.* (1988) de las dimensiones transversales de fibras o traqueidas (Apéndice 1) se puede señalar que la mayoría de las coníferas se clasifican en el mismo rango ancho de traqueidas extremadamente grande, lo mismo para el ancho de lumen extremadamente ancho (Cuadro 3). Para el grosor de pared solo en dos estudios (Morales, 2008; Tinajero, 2004) se clasifican en extremadamente gruesas.

Cuadro 3. Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas de algunas especies de coníferas de acuerdo con la clasificación de Ortega et al. (1988).

Especie	Variable	Valor micras	Extremadament e pequeño	Moderadament e pequeño	Moderadament e grande	Muy grande	Extremadament e grande o gruesa
<i>Pinus gregii</i> Engelm ¹	A.T.	30.71					*
	G.P	3.58		*			
	A.L	23.24					*
<i>Pinus herreraei</i> ²	A.T.	43.48					*
	G.P	7.54					*
	A.L	28.39					*
<i>Pinus teocote</i> ³	A.T.	33.25					*
	G.P	6.48					*
	A.L	20.12					*
<i>Pinus rudis</i> ⁴	A.T.	36.0					*
	G.P	5.3					*
	A.L	25.5				*	

A.T= Ancho de traqueida, G.P= Grosor de pared celular, A.L= Ancho de lumen, ¹ Presente trabajo, ² Morales (2008), ³ Tinajero (2004), ⁴ Ibarra (1999).

Los aspectos morfológicos de las células de la madera influyen en la calidad del papel, y por lo tanto los índices de calidad de pulpa indican si una madera es buena como material fibroso (Tamarit, 1996).

Entre las características a tomar en cuenta se encuentran las propiedades físicas y químicas de las maderas, las características de sus fibras, sin olvidar también el proceso de pulpeo y los tratamientos a los que se somete la pulpa celulósica en la industria misma. Tomando en cuenta las características morfológicas de las fibras, se han determinado índices o coeficientes que relacionan las dimensiones de las fibras, que tienen influencia en las propiedades de la pulpa, como por ejemplo la densidad, resistencia al paso del aire, resistencia a la tensión e índice de rasgado y en las propiedades generales de impresión.

Los índices de calidad son los que nos indican la calidad de pulpa para el papel. Por lo tanto para obtener una pulpa de buena calidad se necesita que el coeficiente de flexibilidad (C.F), deben de tener un valor alto y valores bajos en el coeficiente de rigidez (C.R) y relación Runkel (R.R) (Tamarit, 1996).

Los resultados obtenidos del coeficiente de rigidez (Cuadro 4) se clasifica como delgada de acuerdo a la clasificación (Apéndice 2). El coeficiente de flexibilidad (Apéndice 3) se clasifica como delgado, que corresponde a fibras parcialmente colapsadas, con una sección transversal elíptica, con buena superficie de contacto y buena unión traqueida-traqueida. Y para la relación de Runkel (Apéndice 4), las traqueidas son de muy buena madera con un grado de calidad II. (La clasificación de los grados es de grado I es excelente y el grado V malo) (Tamarit, 1996).

García (1999) han señalado que *Pinus greggii* tiene un alto potencial para uso en plantaciones forestales comerciales, por su alta tasa de crecimiento y de acuerdo con la clasificación de la relación de Runkel y con los datos del presente estudio se puede agregar que además tiene fibras que permiten obtener celulosa de muy buena calidad, semejante a *Pinus rudis*, y superior a otras especies como *Pinus herrerae*, *Pinus teocote*, *Populus tremoloides* y *Causarina equisitifolia* (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índices de calidad de pulpa de las dimensiones transversales en traqueidas.

Especie	C.R	C.F	R.R	Clasificación	Autor
<i>Pinus greggii</i> Engelm.	0.23	0.76	0.32	Muy buena	Presente trabajo
<i>Pinus herreraei</i>	0.35	0.65	0.53	Buena	Morales (2008)
<i>Pinus teocote</i>	0.39	0.61	0.64	Buena	Tinajero (2004)
<i>Pinus rudis</i>	0.29	0.71	0.41	Muy buena	Ibarra (1999)
<i>Casuarina equisetifolia</i>	0.35	0.64	0.34	Buena	Tamarit (1996)
<i>Populus tremuloides</i>	0.47	0.52	0.9	Buena	Tamarit (1996)

C.R = coeficiente de rigidez, C.F. = coeficiente de flexibilidad, R.R. = Relación Runkel,

El coeficiente de variación de las tres variables en estudio de las dimensiones transversales de *Pinus greggii* fue parecido a otros trabajos, semejante a *Pinus rudis*, diferente a *Pinus teocote* e inferior a *Pinus herreraei* (Cuadro 5).

En comparación con otros estudios también fueron diferentes de cada variable y se puede observar que en los trabajos anteriores los coeficientes de variación son muy similares los anchos de traqueida llevan una relación similar desde 17.79 % micras hasta casi el 30 % de variación, y para el grosor de pared, también podemos observar que el trabajo realizado por (Morales 2008) se tiene un valor muy grande del ancho de lumen.

Comparando con otros estudios (Cruz 2008) de longitud de traqueidas también se encontró que tiene un coeficiente de variación alto 19.94 % en *Pinus herreraei*, y (Rodriguez 1998) su coeficiente de variación fue de 33.5 % para *Pinus rudis*, con esta comparación podemos decir que existe mayor variabilidad en las dimensiones transversales de las traqueidas que en el largo de ellas.

Cuadro 5. Componente de variación de diferentes especies de las dimensiones transversales en traqueidas

C.V %

Especie	A.T	G.P	A.L
<i>Pinus greggii</i>	17.79	23.31	22.09
<i>Pinus herreraei</i>	24.68	39.86	42.02
<i>Pinus rudis</i>	19.20	25.50	20.00
<i>Pinus teocote</i>	29.23	27.24	19.61

C.V= coeficiente de variación, A.T= ancho de traqueida, G.P= grosor de pared, A.L= ancho de lumen

3.1.2 Dentro de localidades

Los resultados promedio para las variables dentro de las localidades que se estudiaron fueron los siguientes: para el ancho de traqueida la localidad que presentó mayor valor promedio fue Santa Anita (33.04 micras) y la de menor valor promedio fue Cañón de Jamé (29.09 micras). Para ancho de lumen Santa Anita fue la de valor más alto (25.66 micras), mientras que Cañón de Jamé y Puerto Conejo fueron las de menor valor (22.26 micras y 22.03 micras, respectivamente). Finalmente, para el grosor de pared las dos localidades con los valores más altos fueron entre Puerto Conejo y Santa Anita (3.69 micras) y el Cañón de Jamé obtuvo el menor valor (Cuadro 6).

Con respecto a los índices de calidad, el menor valor en el coeficiente de rigidez y en la relación de Runkel lo presenta la localidad Santa Anita, mientras que el mayor valor el coeficiente de flexibilidad también lo presenta la localidad Santa Anita, así que esta localidad es la que tiene mejor calidad de madera. (Cuadro 6).

Cuadro 6. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

Localidad	n		A.T	G.P	A.L	C.R	C.F	R.R
Puerto Conejo	2540	Media (micras)	29.41	3.69	22.03	0.25	0.74	0.34
		Máximo (micras)	48.69	6.79	41.77	0.49	0.87	0.97

		Mínimo (micras)	17.58	1.97	10.53	0.12	0.51	0.14
		S (micras)	4.55	0.75	4.23	0.05	0.05	0.09
		EE (micras)	0.09	0.015	0.083	0.001	0.001	0.001
		C.V (%)	15.47	20.55	19.19	20.6	7.01	28.67
		Media (micras)	33.04	3.69	25.66	0.22	0.77	0.3
		Máximo (micras)	48.50	6.33	41.57	0.43	0.89	0.77
Santa Anita	3219	Mínimo (micras)	17.83	2.02	11.37	0.11	0.56	0.11
		S (micras)	5.42	0.77	5.41	0.05	0.05	0.11
		E.E(micras)	0.095	0.013	0.095	0.001	0.001	0.001
		C.V (%)	16.42	21.08	21.11	25.02	7.40	33.68
		Media (micras)	31.01	3.61	23.77	0.23	0.76	0.31
		Máximo (micras)	50.41	6.84	43.02	0.48	0.91	0.93
		Mínimo (micras)	12.44	1.62	7.42	0.09	0.51	0.11
El Tarillal	2919	S (micras)	5.61	0.84	5.3	0.05	0.05	0.11
		E. E (micras)	0.103	0.015	0.098	0.001	0.001	0.001
		C.V (%)	18.1	23.47	22.32	24.53	7.63	33.64
		Media (micras)	30.16	3.47	23.21	0.23	0.76	0.31
		Máximo (micras)	44.26	6.9	37.13	0.46	0.88	0.86
		Mínimo (micras)	16.65	1.89	10.01	0.11	0.53	0.12
		S (micras)	4.63	0.75	4.42	0.05	0.05	0.09
Cañón de los Lirios	2420	E. E (micras)	0.094	0.015	0.089	0.001	0.001	0.001
		C.V (%)	15.36	21.76	19.05	22.64	6.9	30.99
		Media (micras)	29.09	3.41	22.26	0.24	0.75	0.32
		Máximo (micras)	49.54	6.51	40.06	0.49	0.89	0.98
		Mínimo (micras)	12.44	1.27	7.42	0.11	0.5	0.12
		S (micras)	5.91	0.81	5.47	0.05	0.05	0.11
		E.E (micras)	0.123	0.017	0.114	0.001	0.001	0.002
Cañón de Jamé	2227	C.V (%)	20.32	23.92	24.57	24.73	7.81	34.42

A.T = Ancho de traqueida; A.L = Ancho de lumen; G.P = Grosor de la pared; C.R.= Coeficiente de rigidez; C.F = Coeficiente de flexibilidad; R.R = Relación Runkel; n = Número de observaciones; C. V. = Coeficiente de variación.

Los valores promedio, así como los valores de coeficiente de variación de cada localidad son semejantes a los valores promedio general .

3.2 Análisis de varianza y de los componentes de varianza

Los análisis de varianza mostraron que hay diferencias altamente significativas entre localidades, entre árboles dentro de las localidades y entre anillos dentro de árboles dentro de localidades (Apéndice 5). Por lo que se demuestra con una confiabilidad del 99 % que existen diferencias de las dimensiones transversales en traqueidas de *Pinus greggii* en estos tres niveles. Por lo tanto se rechazan las hipótesis nulas propuestas en este trabajo.

En otros trabajos también se han encontrado diferencias altamente significativas para estas mismas variables. Tinajero (2004) en *P. teocote* en las fuentes de variación de alturas de rodaja y clases de edad; Ibarra (1999) en *P. rudis* en las fuentes de variación entre árboles, alturas de rodajas y secciones.

En los componentes de varianza expresados en porcentaje para las tres variables y las tres fuentes de variación, se tiene que para las variables ancho de traqueidas y ancho de lumen hubo más diferencia entre anillos, seguido de las localidades, y posteriormente entre árboles. Mientras que para el grosor de pared hubo más diferencia entre anillos, después entre árboles y menos diferencias entre las localidades (Cuadro 7).

En *Pinus herrerae* se encontró que el ancho de traqueida contribuye más las diferencias entre anillos (23.14 %), seguido de las diferencias entre árboles (8.27 %), mientras que el efecto de localidad no contribuyó con ningún porcentaje (0 %); el mismo patrón se presentó para el ancho de lumen y para el grosor de pared en cada una de las fuentes de variación (Morales, 2008).

En *Pinus rudis* que consideró árboles, alturas de rodajas y secciones encontró que el mayor porcentaje de variación lo presentó a nivel de árboles en el ancho de traqueida

y grosor de pared, para el ancho de lumen el mayor porcentaje de variación es para el efecto de secciones. Ibarra (1999).

Cuadro 7. Análisis de los componentes de varianza estimados de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

FV	C.V.E. (%)		
	A.T.	G.P.	A.L.
Loc	8.19	1.56	7.78
arb (Loc)	5.03	6.70	3.56
ani (arb Loc)	14.24	9.81	14.44
error	72.54	81.93	74.22

FV = Fuente de variación; CVE% = Componente de varianza estimado en porcentaje; Loc = Localidad; arb (Loc) = Árboles dentro de localidades; Ani Arb (Loc) = Anillos de los árboles dentro de localidades; A.T= Ancho de Traqueida; G.P= Grosor de Pared; A.L= Ancho de Lumen.

Existe potencial para seleccionar las mejores localidades o procedencias, así como selección individual para el uso en programas de mejoramiento genético forestal, como se ha hecho en una plantación de prueba de 6 años de *Pino loblolly* especialmente tolerante a los sitios húmedos. Las cruzas son de carolina del norte.

También en *Picea engelmannii* y *Pinus contorta*, un patrón de variación hacia arriba del árbol que incluye traqueidas más cortas en la base, más largas en el centro y nuevamente más cortas cerca de la copa. (France y Mexal, 1980).

Mientras que la variación dentro del árbol, en este caso entre anillos, lleva a la necesidad de clasificar la madera dentro del árbol para darle un valor económico diferente. Es decir, que la madera del centro del árbol, llamada madera juvenil tiene características de menor calidad que la madera cercana a la corteza, llamada madera madura (Zobel y Talbert, 1988).

3.2.1 Diferencias entre localidades

Las diferencias entre las localidades muestran de acuerdo a la agrupación de la prueba de Tukey que la localidad de Santa Anita fue la que obtuvo el mayor valor para la

variable ancho de traqueida y fue diferente de las localidades El Tarillal y Cañón de los Lirios y posteriormente la de menor valor fue la localidad de Cañón de Jamé. Para el grosor de pared las localidades con mayor valor y agrupación fueron Puerto Conejo y Santa Anita y menor valor fue el Cañón de Jamé. Y la variable ancho de lumen la localidad de Santa Anita fue la que obtuvo el valor más alto y las localidades con menor valor fueron Puerto Conejo y Cañón de Jamé (Cuadro 8).

En los índices de calidad de pulpa de las variables estudiadas la localidad Santa Anita obtuvo mayor valor en el coeficiente de rigidez, y también obtuvo menor valor en el coeficiente de flexibilidad y en la relación de Runkel (Cuadro 9).

De acuerdo a la clasificación de Tamarit (1996) para producir pulpa de buena calidad se requieren valores bajos en el coeficiente de rigidez y relación Runkel y un valor alto en el coeficiente de flexibilidad. Es por ello que la localidad de Santa Anita es la mejor en los índices de calidad de la madera.

Cuadro 8. Prueba Tukey para separación de medias de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

Localidad	N	A.T.		G.P.		A.L.	
		Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey
Puerto Conejo	2540	29.41	D	3.69	A	22.03	D
Santa Anita	3219	33.04	A	3.69	A	25.66	A
El Tarillal	2919	31.01	B	3.61	B	23.07	B
Cañón de Los Lirios	2420	30.16	C	3.47	C	23.21	C
Cañón de Jamé	2227	29.09	D	3.41	D	22.26	D

N=número de observaciones de cada localidad

Cuadro 9. Prueba Tukey para separación de medias de los Índices de Calidad de pulpa de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

Localidad	N	Coeficiente de Rigidez		Relación Runkel		Coeficiente de flexibilidad	
		Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey
Puerto Conejo	2540	0.25	A	0.34	A	0.74	D
Santa Anita	3219	0.22	D	0.3	D	0.77	A
El Tarillal	2919	0.23	B C	0.31	B	0.76	B C
Cañón de Los Lirios	2420	0.23	C	0.31	C	0.76	B
Cañón de Jamé	2227	0.24	B	0.32	B	0.75	C

N=número de observaciones de cada localidad

3.2.2 Diferencias entre árboles

Los resultados entre árboles indican que si existen diferencias de un árbol a otro, con lo valores medios de cada variable, se puede apreciar que hay suficiente variabilidad entre árboles (Cuadro 10) como para emplearse en un programa de mejoramiento genético, siempre que exista una heredabilidad considerable (Zobel y Talbert, 1988), dado que se trata de características de importancia económica porque tiene influencia en las propiedades del producto final, especialmente el papel (Tamarit, 1996; Zobel y Talbert, 1988).

Cuadro 10. Medidas de tendencia central entre poblaciones de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

Variable	Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo	Rango	C.V (%)
A.T.	27.74	30.58	34.23	6.49	6.25
G.P.	3.13	3.57	4.03	0.9	6.68
A.L.	20.86	23.42	26.46	5.6	7.26

A.T. = ancho de traqueida; G.P. = grosor de pared; A.L. = ancho de lumen; C.V. = coeficiente de variación.

3.2.3 Diferencias entre anillos

Las diferencias entre anillos se realizaron con los promedios de cada anillo obtenido de cada variable (ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de pared).

Para el ancho de traqueidas (Figura 2) tiende a aumentar del centro hacia la periferia del árbol, los valores más pequeños se encuentran cerca de la médula y a medida que se alejan estos aumentan, aunque casi al final de la gráfica se dispara

notablemente y luego disminuye que exista poca variación entre cada anillo, esto se debe que hay pocos árboles representativos con anillos mayores de 80 anillos.

En *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán, también se encontró el mismo patrón (Morales, 2008), dicho patrón es semejante a lo reportado para otras coníferas como especies, *Pinus patula*, *Pinus oaxacana*, *Pinus teocote* (Torres y Eguiluz, 1989)

En el ancho de lumen se muestra un patrón definido de aumento del centro hacia la periferia del árbol, por los altibajos que se presentan a lo largo de la tendencia. (Figura 2)

Contrario a los encontrado en *Pinus rudis* (Ibarra, 1999) y *Pinus teocote* (Tinajero, 2004) en los que encontraron un decremento continuo del centro del árbol hacia la periferia. Esta característica muestra el patrón más común reportado para la sección transversal en coníferas, es de un decremento de la médula hacia la corteza, como se señala para *Pinus patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana*, *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), *P. maximinoi*, *P. oocarpa*, *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989).

Para el grosor de la pared se muestra una tendencia de aumento del centro del árbol hacia la parte exterior, siendo este patrón similar a los estudios de Ibarra (1999) de *Pinus rudis* y Tinajero (2004) de *Pinus teocote*. (Figura 3).

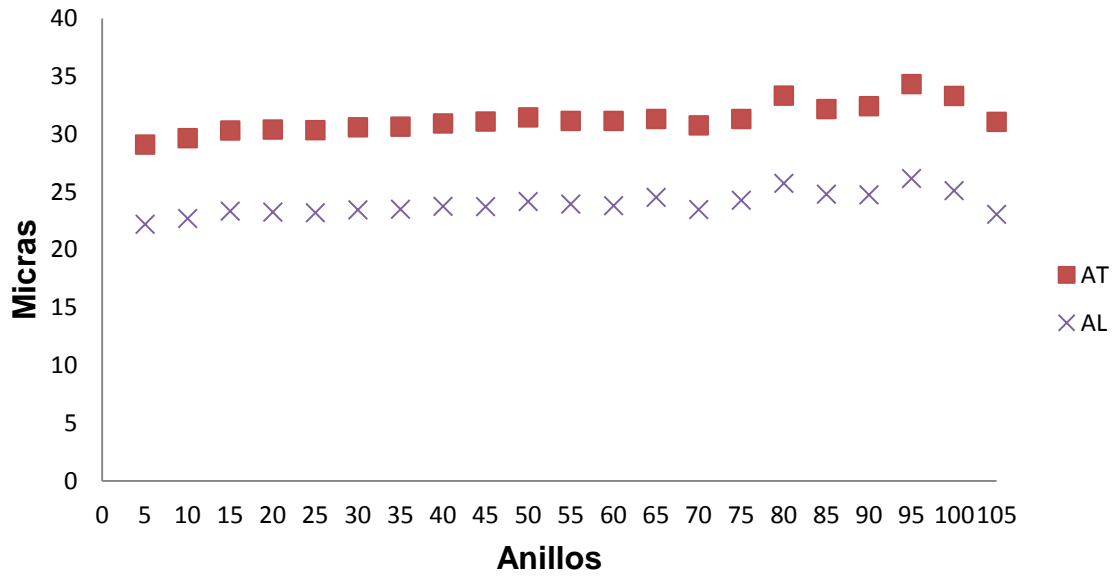


Figura 2. Tendencia de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

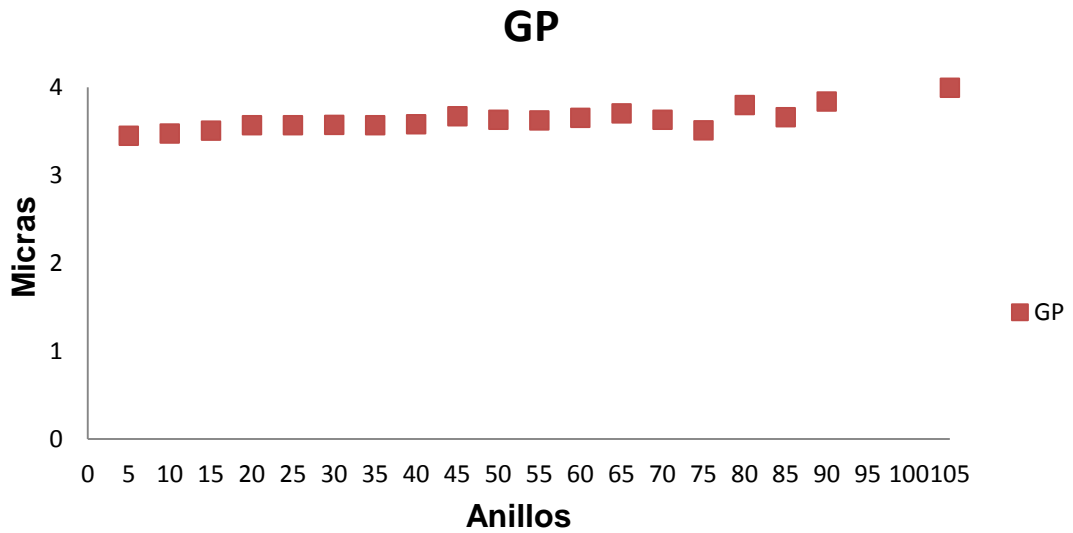


Figura 3. Tendencia de las dimensiones transversales del grosor de pared celular, de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

3.3 Correlación entre variables

Todas las correlaciones fueron estadísticamente significativas ($Pr < 0.01$ y con $n=13375$). Las correlación entre el ancho de traqueidas y ancho de lumen muestra una correlación positiva fuerte ($r=0.96$) y positiva moderada entre al ancho de traqueida y grosor de pared ($r=0.41$) (Cuadro 11).

Cuadro 11. Resultados de la correlación de las de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

	G.P	A.L	C.R	C.F	R.R
A.T	0.41 ($<.0001$) ^a	0.96 ($<.0001$) ^a	-0.49 ($<.0001$) ^a	0.49 ($<.0001$) ^a	-0.48 ($<.0001$) ^a
G.P		0.16 ($<.0001$) ^a	0.58 ($<.0001$) ^a	-0.58 ($<.0001$) ^a	0.57 ($<.0001$) ^a
A.L			-0.68 ($<.0001$) ^a	0.68 ($<.0001$) ^a	-0.68 ($<.0001$) ^a
C.R				-1.000 ($<.0001$) ^a	0.99 ($<.0001$) ^a
C.F					-0.99 ($<.0001$) ^a

A.T. = Ancho de traqueida; A.L. = Ancho de lumen; G.P. = Grosor de la pared; C.R.= Coeficiente de rigidez; C.F. = Coeficiente de flexibilidad; R.R. = Relación de Runkel, a= probabilidad de t de tablas

Entre los índices de calidad de papel existe una fuerte correlación. Entre el coeficiente de rigidez y la relación de Runkel la correlación es positiva ($r=0.99$), mientras que el coeficiente de flexibilidad tiene una muy fuerte correlación negativa ($-0.99 < r < -1.0$) con los otros dos índices (coeficiente de rigidez y relación de Runkel) (Cuadro 11).

El ancho de traqueidas, el grosor de pared y el ancho de lumen presentan una fuerte correlación con los tres índices de calidad de papel generados en este trabajo ($-0.48 < r < 0.68$). El ancho de traqueidas y ancho de lumen se correlacionan en

forma negativa con el coeficiente de rigidez y la relación de Runkel, y en forma positiva con el coeficiente de flexibilidad, mientras que el grosor de pared sigue el patrón contrario (Cuadro 11).

Una madera de calidad para papel debe tener en los coeficientes de rigidez y en la relación de Runkel tener los valores bajos y en el coeficiente de flexibilidad valores altos. Por lo que la madera con traqueidas que presentan valores grandes de ancho de traqueida, valores grandes y ancho de lumen y valores pequeños de grosor de pared, generarán los mejores índices de calidad de papel.

V. CONCLUSIONES

Las conclusiones para las dimensiones transversales de madera tardía de las poblaciones de *Pinus greggi* del norte de México bajo estudio son:

Las tres variables en estudio, así como los índices de calidad de papel generados, presentaron variabilidad.

Las traqueidas se clasifican en extremadamente anchas de diámetro, lumen extremadamente ancho y grosor de la pared celular mediano.

El nivel de variación encontrado en las tres variables bajo estudio se encuentra dentro de los niveles de reportados en otros trabajos de madera tardía de coníferas.

Existen diferencias altamente significativas entre localidades, entre árboles dentro de las localidades y entre anillos dentro de árboles dentro de localidades.

Las diferencias entre anillos son la principal fuente de variación, seguido de las diferencias entre árboles y en menor proporción el efecto debido a diferencias entre localidades.

La madera de *Pinus gregii* se clasifica como muy buena para producción de papel, de acuerdo con los tres índices de calidad de papel utilizados.

La localidad Santa Anita es la que presenta los mejores índices de calidad de papel.

Existe fuerte asociación entre las variables de las traqueidas en estudio y los índices de calidad de papel.

VI. RECOMENDACIONES

Hacer estudios semejantes para las otras localidades de *Pinus greggii*.

Se propone el uso de la especie para plantaciones comerciales con la finalidad de producción de celulosa y papel de muy buena calidad.

Realizar este tipo de estudios en pruebas de progenie para conocer el nivel de heredabilidad y otros parámetros genéticos.

VII. LITERATURA CITADA

- Carreño M., J. M. 1973. Evaluación de una plantación de coníferas de 20 años de edad. Tesis Profesional. Unidad de Enseñanza e Investigación en Bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 57p.
- Cruz A., M. 2008 Variación longitudinal de traqueidas de madera de *Pinus herrerae* Mart. De la región de la Ciudad Hidalgo, Mich. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 40 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.
- Eguiluz P., T. 1982. Ensayo de integración de los conocimientos sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo, México. 623 p.
- Farjon, A.; Styles, T. b. 1997. Flora Neotropica. Monograph 75 *Pinus* (pinaceae) Organization for flora neotropica by The New York Botanical Garden. New York 192- 195.
- France, R. F y Mexal, J. G. 1980. Morphological variation in tracheids in the bolewood of nature *Picea engelmannii* and *Pinus contorta*. Can Jour. For: res 10 (4):573-578 p.
- Herrera H., J. 1998. Establecimiento de un huerto semillero sexual de *Cupressus guadalupensis* S.Wats. plantado en Chapingo, México. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 82 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.
- López U., J. y A. Muñoz O. 1991 Selección familiar por tolerancia a sequia en *Pinus greggii* Engelm. I. Evaluación en plántula. Agrociencia. Serie Fitociencia 2(2): 111-123.
- López, J., C. Ramírez., H., O. P. Escalante y J. Jasoo. M., variación en crecimiento de diferentes poblaciones de las dos variedades de *Pinus greggii*. Programa Forestal. Instituto de Recursos Naturales. Colegio de Postgraduados.
- 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.
- Maldonado J., J. 2011 Variación natural del largo de traqueidas de *Pinus greggii* Engelm. del Norte de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 35 p
- Morales G., E. 2008 Variación natural en dimensiones transversales de traqueidas en *Pinus herrerae* Mtz. en Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 62 p.
- Nienstanedt, H. 1990. Importancia de la variación natural. Memoria de mejoramiento genético y plantaciones forestales, Eguiluz P., T. y A., Plancarte B. (editores) Lomas de San Juan, Chapingo, México. 209 p.
- Padilla G., H. 1987. Glosario práctico de términos forestales. Limusa. México. 119p.

- Perry, J. P. 1991. The pines of Mexico and Central America. Timber press Portland, Oregon, U.S.A 166 p.
- Ramírez H., C., J. Vargas H., J. López U. 2005. Distribución y conservación de las poblaciones naturales de *Pinus gregii*. Instituto de Ecología A.C Pátzcuaro, México p 1-16.
- Robles F., F. y R. Echenique M. 1989. Estructura de la madera. Editorial Limusa. México. 367 p.
- Rodriguez V., E. 1998 Variación de largo de traqueidas dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. de Sierra las Alazanas, Mpio de Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México. 52 p.
- Ruiz O., M. 1979. Tratado elemental de botánica. 15ª edición, ECLALSA. México. 730p.
- Salazar G., G.J., J. Vargas H., J. Jaso M., J. D. Molina G., C. Ramírez H. y J. López U. 1999 Variación en el patrón de crecimiento en altura de cuatro especies de *Pinus* en edades tempranas. *Madera y Bosques* 5(2): 19-34.
- Tamarit U., J.C. 1996 Determinación de los Índices de calidad de pulpas para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y bosques* 2 (2):29-41.
- Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1988. Resistencia a sequia: II. Crecimiento y supervivencia en plántulas de cuatro especies de *Pinus*. *Agrociencia* 72: 197-208.
- Wayne. W., D. 2009. Bioestadística. Base para el análisis de las ciencias de la salud. Limusa. Balderas 95, México, D.F. 755 p.

Zobel, B. J y J. T. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de arboles forestales. Limusa. México. 545 p.

APÉNDICE

Apéndice 1. Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas (micras) utilizado por Ortega *et al.* (1988)

Ancho de traqueidas	micras
Extremadamente fina	De 10 o menos
Muy fina	De más de 10 hasta 12
Moderadamente fina	De más de 12 hasta 14
Mediana	De más de 14 hasta 19
Moderadamente ancha	De más de 19 hasta 21
Muy ancha	De más de 21 hasta 26
Extremadamente ancha	De más de 26

Ancho de lumen	micras
Extremadamente fino	De 3 o menos
Muy fino	De más de 3 hasta 4
Moderadamente fino	De más de 4 hasta 5
Mediano	De más de 5 hasta 10
Moderadamente ancho	De más de 10 hasta 14
Muy ancho	De más de 14 hasta 19
Extremadamente ancho	De más de 19

Grosor de la pared	Micras
Extremadamente delgado	De 1.5 o menos
Muy delgado	De 1.5 hasta 2.0
Moderadamente delgado	De más de 2 hasta 3
Mediana	De más de 3 hasta 4
Moderadamente gruesa	De más de 4 hasta 5
Muy gruesa	De más de 5 hasta 7
Extremadamente gruesa	De más de 7

Apéndice 2. Clasificación de coeficiente de rigidez (Tamarit, 1996)

Clasificación del Coeficiente de Rigidez

Rango	Grosor de la pared
mayor de 0.70	Muy gruesa
de 0.70 a 0.50	Gruesa
de 0.50 a 0.35	Media
de 0.35 a 0.20	Delgada
Menos de 0.20	Muy delgada

Apéndice 3. Clasificación de Runkel

Grado	Clasificación de Runkel	
	Rango	Clasificación
I	menor de 0.25	Excelente
II	de 0.25 a 0.50	Muy buena
III	de 0.50 a 1.00	Buena
IV	de 1.00 a 2.00	Regular
V	mayor de 2.00	Mala

Apéndice 4. Clasificación del coeficiente de flexibilidad (Tamarit, 1996)

Rango	Grosor de pared	Características
Menor de 0.30	Muy gruesa	Las fibras no se colapsan. Muy poca superficie de contacto. Pobre unión fibra-fibra.
de 0.30 a 0.50	Gruesa	Las fibras se colapsan muy poco. Poca superficie de contacto. Poca unión fibra-fibra.
de 0.50 a 0.65	Mediana	Abarca lo anterior.
de 0.65 a 0.80	Delgada	Fibras parcialmente colapsadas, con una sección transversal elíptica. Buena superficie de contacto. Buena unión fibra-fibra.
Menor de 0.80	Muy delgada	Las fibras se colapsan. Buena superficie de contacto. Buena unión fibra-fibra.

Apéndice 5. Resultados del análisis de varianza de las dimensiones transversales en traqueidas de cinco poblaciones de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México.

FV	gl	AT			GP			AL		
		CM	Fc	Pr > F	CM	Fc	F	Pr >	CM	Fc
Loc	4	7168.78	61.06	<0.0001**	40.77	17.56	0.0001	6080.27	58.08	0.0001
arb (Loc)	45	518.45	23.52	<0.0001**	13.42	25.46	0.0001	361.79	17.75	0.0001
ani (arb Loc)	619	108.68	4.92	<0.0001**	1.79	3.42	0.0001	99.9	4.89	0.0001

F. V. = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CM = Cuadrados Medios; Fc = Valor calculado de F; Pr>F = Probabilidad mayor de F; .Loc = Localidad; arb (Loc) = Árboles dentro de las localidades; ani (arb Loc) = Anillos de los árboles dentro de las localidades; ** = Altamente significativo al $\alpha = 0.05$