

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



**Variación natural en dimensiones transversales de
traqueidas en *Pinus herrerae* Mtz. en Cd. Hidalgo, Michoacán**

Por:

ERICK MORALES GONZÁLEZ

TESIS

**Presentada como requisito parcial para
obtener el título de:**

INGENIERO FORESTAL

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2008

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

**Variación natural en dimensiones transversales de
traqueidas en *Pinus herrerae* Mtz. en Cd. Hidalgo, Michoacán**

Por:

ERICK MORALES GONZÁLEZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

Asesor principal

Coordinador de la División de Agronomía

M. C. Salvador Valencia Manzo

Dr. Mario E. Vázquez Badillo

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México

Mayo 2008

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL**

**Variación natural en dimensiones transversales de
traqueidas en *Pinus herrerae* Mtz. en Cd. Hidalgo, Michoacán**

POR:

ERICK MORALES GONZÁLEZ

TESIS

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

INGENIERO FORESTAL

APROBADA

**M. C. Salvador Valencia Manzo
Asesor principal**

**Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo
Asesor**

**M.C. Gabriela Ramírez Fuentes
Asesor**

**Buenavista, Saltillo, Coahuila, México
Mayo 2008**

PENSAMIENTOS

Nunca andes por el camino trazado, pues él te conduce únicamente hacia donde los otros fueron

(Graham Bell).

La vida solo puede ser comprendida mirando para atrás; más solo puede ser vivida mirando para adelante

(Soren Kierkegaard).

No se puede enseñar nada a un hombre; sólo se puede ayudarlo a encontrar la respuesta dentro de sí mismo

(Galileo Galilei).

La vida en la tierra es solamente temporal...

Sin embargo, algunos viven como si fueran a quedarse aquí eternamente y se olvidan de ser felices

(Anónimo).

El valor de las cosas no está en el tiempo que duran, si no en la intensidad con que suceden. Por eso existen momentos inolvidables, cosas inexplicables y personas incomparables

(Anónimo).

DEDICATORIA

A mis abuelos:

ANGÉLICA VELASCO GARCÍA Y JUVENTINO GONZÁLEZ MEZA

A quienes respeto como padres, por haber crecido con ellos, por ser los pilares más grandes en mi vida, porque por ellos soy lo que soy; así como por todo el amor, cariño, rigor, educación y por todos los sabios consejos que me han dado, por compartir conmigo alegrías y tristezas, a ellos que Dios me los bendiga por siempre, en especial quiero dedicar esta tesis, a mi abuela a quien nunca voy a acabar de agradecer todo el sacrificio que ha hecho por mí para sacarme adelante y poder lograr una carrera; nunca los olvidaré y siempre los llevaré en mi corazón y recordaré cuando me decía mi abuela, lo que quieras en esta vida hijo defiéndelo con uña y dientes y no te des por vencido, ya que la mejor herencia que puedes tener es tus estudios.

A mis padres:

MA. BERTHA GONZÁLEZ VELASCO Y BENJAMÍN MORALES VALDIVIES

Por haberme dado la vida y aunque no crecí con ellos les tengo un gran respeto y les doy gracias por lo poco o mucho que me han apoyado tanto moral como económicamente.

A mis hermanos:

BRIZEIDA Y BENJAMÍN

Por ser los más pequeños y yo el ejemplo de ellos, espero que les sirva de motivación para que algún día lleguen a superarse y logren una profesión y que a pesar de todos los obstáculos que se les presenten no se den por vencidos hasta lograr lo que anhelan y más que nada que aprendan a valorar lo que tienen, sólo así podrán ser mejores seres humanos y servir de ejemplo en un futuro.

A mis tíos:

A todos mis tíos quienes me han dado incondicionalmente un apoyo moral y buenos consejos para echarle ganas y lograr mi carrera, también por todo el cariño que me han brindado, se las dedico.

A mis primos:

Con quienes he compartido en mi vida muchas alegrías y tristezas y por el apoyo moral que me han dado.

A toda la familia

Que confió en mí, les agradezco con todo mi corazón por el trato de cariño y afecto que me han demostrado y por siempre esperarme con los brazos abiertos y ansiosos de verme cuando yo regresaba al pueblo de vacaciones, que Dios los bendiga.

A mi novia:

Por compartir conmigo maravillosos momentos, por estar conmigo en las buenas y las malas; también por todo el amor, cariño y apoyo moral que me ha brindado. No te des por vencida y supérate, y que ojalá yo sea un buen ejemplo para ti; te amo Karina “mi chapitas”.

A mi cuñada:

Por su amistad que me ha brindado.

A todos los compañeros de la generación CIV

Con los que compartimos muy buenos momentos en especial para, Adán, Alberto, Bernardo, Enrique, Héctor Juan, Hernán, Manuel, Julio Cesar, Rubiel Froilan, Vicente y Madaly, así como aquellos que compartieron su tiempo conmigo como los maestros Darinel (Rey), Cahuich (Bomba), Cahuare (Grusoni), Jesús (Chuy), Raúl (Parka) y a todos aquellos que se me escapan de la mente, se las dedico camaradas.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme la vida y traerme a este maravilloso mundo, por la fortaleza y fuente de estímulo que ha sido para mí, así como por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, también por haberme permitido concluir con mis estudios de nivel licenciatura y lograr ser un Ingeniero Forestal.

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

A los estimados profesores del Departamento de Forestal, por su contribución en mi formación durante toda la carrera y agradezco aquellos quienes me dieron la confianza para poder establecer un vínculo de amistad.

Al M. C. Salvador Valencia Manzo, por su tan valiosa asesoría y dedicada revisión de este trabajo, para llevarlo a cabo de la mejor manera, así como por compartir conmigo su valioso tiempo y espacio.

Al Dr. Eladio H. Cornejo Oviedo, por contribuir con la revisión de este trabajo y permitirme trabajar con sus muestras.

A la M. C. Gabriela Ramírez Fuentes, por su asesoría, aportación y revisión de este trabajo.

Al Departamento de Botánica, por brindarme el servicio de laboratorio, apoyo y espacio de trabajo. En especial a T. A Angélica Martínez Ortíz quien gracias a su apoyo, confianza y recomendaciones, pude llevar a cabo todo el trabajo de laboratorio del presente estudio.

El presente estudio forma parte del Proyecto de Investigación: 02.03.0207.2371 de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, denominado: "Variación en traqueidas de madera tardía de *Pinus herrerae* de la región de Cd. Hidalgo, Mich."

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
ÍNDICE DE CUADROS	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
RESUMEN	vi
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Objetivo e hipótesis	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS	6
2.1 Descripción del área de estudio	6
2.2 Trabajo de campo	10
2.3 Trabajo de laboratorio	11
2.3.1 Obtención de muestras de madera	11
2.3.2 Obtención de anillos de madera tardía	11
2.3.3 Disociación de la madera	13
2.3.4 Teñido de fibras	13
2.3.5 Preparación de laminillas	14
2.3.6 Medición de las traqueidas	14
2.4 Análisis estadístico	15
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	19
3.1 Medidas de tendencia central y de dispersión	19
3.2 Análisis de varianza	26
3.3 Análisis de los componentes de varianza	27
3.4 Variación entre localidades	29

3.5 Variación entre árboles	31
3.6 Variación entre anillos	31
3.7 Correlación de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía	33
4. CONCLUSIONES	35
5. RECOMENDACIONES	37
6. LITERATURA CITADA	38
7. APÉNDICE	44

ÍNDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Ubicación geográfica de las localidades donde fueron colectadas las muestras de madera de <i>Pinus herrerae</i> Mtz. en Zinapécuaro y Ciudad Hidalgo, Michoacán.	8
Cuadro 2. Características del clima que presentan los lugares con estaciones meteorológicas cercanas a las localidades en estudio.	9
Cuadro 3. Componentes de los cuadrados medios para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de <i>Pinus herrerae</i> Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Mich.	18
Cuadro 4. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía en <i>Pinus herrerae</i> Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.	19
Cuadro 5. Clasificación de las dimensiones transversales de traqueidas de algunas especies de coníferas de acuerdo con la clasificación de Ortega <i>et al.</i> (1988).	21
Cuadro 6. Índices de calidad de pulpa en algunas especies de coníferas y latifoliadas en lo que respecta a las dimensiones transversales de traqueidas.	24
Cuadro 7. Error estándar para diferentes trabajos en el ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared.	25

Cuadro 8. Análisis de los componentes de varianza estimados en porcentaje de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de las cuatro localidades de distribución natural de <i>Pinus herrerae</i> Mtz. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.	28
Cuadro 9. Prueba Tukey para separación de medias entre cuatro localidades para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de <i>Pinus herrerae</i> Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.	30
Cuadro 10. Prueba Tukey para separación de medias con los índices de calidad de pulpa entre cuatro localidades para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de <i>Pinus herrerae</i> Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.	30

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Ubicación geográfica de las cuatro localidades para el estudio de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía en <i>Pinus herrerae</i> Mtz. en la región de Cd. Hidalgo, Mich. (Tomado de Hernández, 2007).	7
Figura 2. Representación esquemática de corte de rodaja, extracción y seccionado de la faja de madera.	12
Figura 3. Tendencia de las dimensiones transversales de traqueidas en su eje transversal en árboles de <i>Pinus herrerae</i> Mtz. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.	32

RESUMEN

Las dimensiones transversales de las traqueidas son importantes porque determinan en gran medida el tipo y calidad de la pulpa para papel. El presente estudio tuvo como objetivo determinar la variación entre localidades, entre árboles y entre anillos, de las dimensiones transversales de traqueidas en *Pinus herrerae* de la región de Cd. Hidalgo, Mich.

En este estudio se analizaron 26 árboles de cuatro localidades: La Joya, Huajúbaro, El Molcajete y San Antonio Villalongín, con 4 a 11 árboles por localidad. De cada árbol se extrajo una rodaja al final de la primera troza comercial. A cada rodaja se le extrajo una faja de madera de 6 cm de ancho donde fueron identificadas como sección A y B, así mismo fueron subseccionadas cada 10 anillos de crecimiento. De cada sección se obtuvo la madera tardía del quinto y décimo anillo, la cual se disoció mediante el método de Franklin modificado por Rodríguez, para separar las traqueidas. De cada anillo se midieron 20 traqueidas para las variables, ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared y se determinaron tres índices de calidad de pulpa: Coeficiente de rigidez, Coeficiente de flexibilidad y Relación Runkel. Se realizaron análisis de varianza y componentes de varianza, prueba de diferencia de medias y correlaciones simples entre las variables.

Los resultados mostraron diferencias entre localidades, entre árboles y entre anillos. Se obtuvieron valores promedio de 43.48, 28.39 y 7.54 micras, para el ancho de traqueida, ancho de lumen y el grosor de la pared, respectivamente. De la variación total observada, el efecto de anillos es el que más influye (18.85 a 25.55 %), le sigue el efecto de árboles (8.27 a 10.4 %) y localidades aparece sin contribución porcentual. Con base en la relación Runkel las traqueidas de la madera de *Pinus herrerae* fueron clasificadas como buenas para papel, con un grado de calidad III.

Palabras Clave: *Pinus herrerae*, variación, traqueidas, dimensiones transversales, región Cd. Hidalgo, Mich.

1 INTRODUCCIÓN

En México de todo el recurso forestal maderable que existe, los pinos representan el 81 % del aprovechamiento en el país; pero a pesar de que la industria forestal depende fuertemente de los bosques de pinos, existe desconocimiento acerca de algunos aspectos acerca de ellos, por lo que hace falta conocer más a cada una de las especies para darle un mejor manejo e intensificar las investigaciones en las propiedades químicas, físicas, biológicas y tecnológicas de la gran diversidad de especies de pinos mexicanos (Campos, 1990). Michoacán ocupa el 5º lugar en biodiversidad, por lo mismo presenta diversos tipos de ecosistemas desde clima templado al oriente de la entidad, hasta climas cálido húmedo a lo largo de la costa. Esta riqueza natural es para el estado un alto potencial para el desarrollo económico y social (Amezcuca y Ángeles, 2003).

La madera es de gran importancia, ya que de ésta se derivan muchos productos que son consumidos por la sociedad, por lo que hay que esforzarse más para que su calidad sea mejor. Ante esta situación, para utilizar adecuadamente la madera de cada una de las especies es importante conocer sus características estructurales, ya que las posibilidades de usarla o los servicios que pueden ofrecer se encuentran estrechamente ligados ya sea de forma directa o indirecta con su anatomía (Díaz, 1988).

Las coníferas generalmente producen dos tipos de madera, que son: la madera temprana y la madera tardía; la primera tiene células de diámetro relativamente grandes y paredes de menor grosor; mientras que la segunda, presenta células de menor dimensión, pero con paredes más gruesas, lo que le da mayor densidad y resistencia, además de que su color es más oscuro (Robles y Echenique, 1989). Por otra parte, la madera juvenil se forma cerca de la médula o centro del árbol y la madera madura se encuentra en la parte más externa del árbol, estos tipos de madera tienen grandes diferencias ya que particularmente en traqueidas, éstas son más pequeñas cerca de la médula del árbol y conforme avanza hacia la periferia éstas tienden a aumentar; por

ejemplo, en *Pinus taeda*, la longitud de traqueidas varía regularmente de 2 mm en la madera juvenil hasta 3.5 ó 5.5 mm en la madera madura (Zobel y Talbert, 1988).

Padilla (1982) menciona que 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. La importancia que tienen éstas en sus dimensiones transversales radica en que contribuye de manera positiva o negativamente en el tipo y calidad del papel producido, además, determinan si una especie es adecuada para producir pulpa de una determinada calidad (Tamarit, 1996). Así, el ancho de traqueida y lumen, presentan una respuesta durante el proceso de pulpeo, de tal forma que maderas con traqueidas de diámetros y lúmenes amplios se producen pulpas de muy buena a buena calidad, contribuyendo al desarrollo de un colapso, propiciando un mejor enlace entre ellas, que a su vez mejoran la calidad de pulpas producidas (Tamarit, 1996).

El grosor de la pared tiene una estrecha relación con la calidad de la pulpa, ya que ésta es mejor cuando las traqueidas son de menor grosor, las que tienden a colapsarse tomando forma de listones estructurales durante el pulpeo y la formación de la hoja, así mismo presentan mayor adherencia, uniones compactas y fuertes, mayor resistencia a la tensión, explosión y rasgado (Tamarit, 1996).

Las traqueidas de la madera muestran una gran variabilidad y una marcada heredabilidad en su tamaño celular, aunque su efecto sobre el producto final es menor que el peso específico, éstas pueden tener efectos importantes sobre las propiedades del papel. Por ejemplo, en una muestra de más de 300 individuos de *Pinus taeda* de la misma edad creciendo en sitios similares, se encontró un árbol con longitud de traqueidas de longitud de 2.6 mm en el treintavo anillo a la altura del pecho, en tanto que otro árbol de la misma área tenía traqueidas de 6.1 mm de longitud en el mismo anillo (Zobel y Talbert, 1988).

Los índices de calidad de las pulpas son de importancia, ya que representan una excelente ayuda para saber anticipadamente lo que se puede esperar de una determinada madera (Tamarit, 1996). Anteriormente las dimensiones de las fibras, especialmente la longitud, tuvieron y siguen teniendo importancia, pero son de mayor utilidad las relaciones que de éstas se puedan derivar, tales como: coeficiente de rigidez (C.R.), coeficiente de flexibilidad (C.F.), índice de esbeltez (I.E) (Santiago *et al.*, 2002; Mogollón *et al.*, 2002) y la relación Runkel (R.R) (Tamarit, 1996).

Los métodos de disociación de la madera para obtener células aisladas de los tejidos leñosos son varios, uno de los más usados es el método de Franklin (Curtis, 1986), el cual ha sido utilizado en diferentes trabajos tales como *P. patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana* y *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1988); *P. maximinoi*, *P. oocarpa* y *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989), este método fue modificado por Rodríguez (1998) y ha sido utilizado en trabajos con especies, como: *Pinus rudis* (Rodríguez, 1998); *P. rudis* (Ibarra, 1999) y *P. teocote* (Tinajero, 2004), y consiste en agregar a las muestras depositadas en los frascos, 2 ml de ácido glacial acético y 2 ml de peróxido de hidrógeno, posteriormente estos frascos se incuban por un periodo de 24 horas a una temperatura de 70 °C.

Para incluir una característica en un programa de mejoramiento genético forestal, ésta debe poseer tres propiedades: variación, heredabilidad y ser de importancia económica (Zobel y Talbert, 1988).

La variación se define como las diferencias anatómicas o fisiológicas entre individuos de la misma especie y éstas pueden ser ambientales o hereditarias (Padilla, 1982). Zobel y Talbert (1988) mencionan que existen varios niveles de variación, los cuales puede ser en: orígenes geográficos (procedencias), entre sitios dentro de las procedencias, en rodales dentro de los sitios, diferencias en árboles dentro de rodales y diferencias dentro del árbol.

En cuanto a la variación de traqueidas se han hecho varios trabajos a nivel de árboles, por ejemplo, el estudio de la variación natural en las dimensiones transversales de traqueidas de *Pinus patula* var. *longipedunculata*, *P. rudis*, *P. oaxacana* y *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), la variación longitudinal y transversal de traqueidas en *P. maximinoi*, *P. oocarpa* y *P. michoacana* var. *cornuta* (Feria y Eguiluz, 1989); otros han estudiado esta variación dentro del árbol, en el que se pueden citar trabajos realizados en dimensiones transversales de traqueidas de la madera de *P. rudis* (Ibarra, 1999) y en *P. tecote* Schl. et Cham. (Tinajero, 2004) y en longitud de traqueidas también en *P. rudis* (Rodríguez, 1998) y *P. teocote* Schl. et Cham. (Maldonado, 2004).

Pinus herrerae se encuentra distribuido en los estados de Jalisco, Sinaloa, Durango, Guerrero y Michoacán. Recientemente CAMCORE confirmó la existencia de *Pinus herrerae* en Oaxaca (Dvorak et al., 2000). En el estado de Michoacán, se ha localizado en los municipios de Coalcomán y Aguililla, formando pequeños bosquetes y comúnmente se encuentra asociado con *Pinus douglasiana*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. oocarpa*, *P. teocote* y *Quercus rugosa*, tiene un rango altitudinal que oscila entre 1200 a 2500 msnm (Dvorak et al., 2000; Amezcua y Ángeles, 2003). Hay información en la que reportan que *P. herrerae* está naturalmente distribuido en los municipios de Zinapécuaro y Cd. Hidalgo, Michoacán (Mares, 2003).

La importancia económica que tiene *Pinus herrerae* radica en que su madera es de buena calidad de textura media a fina y de rápido crecimiento, también es una especie resinera muy importante, pero desafortunadamente no se conoce la composición de su trementina (Eguiluz, 1978; Conafor-Conabio, s/f). Para esta especie se han reportado en altura un incremento corriente anual (ICA) de 0.28 m año^{-1} hasta 0.732 m año^{-1} y un incremento medio anual (IMA) con valores de 0.28 m año^{-1} hasta 0.61 m año^{-1} (Mares, 2003). Por la importancia que tiene su madera se utiliza para aserrío, cajas de empaque, pulpa para papel, postes telegráficos, chapado, pisos de duela y parquet, tarimas, muebles rústicos, entre otros (Eguiluz, 1978; Amezcua y Ángeles, 2003; Conafor- Conabio, s/f).

Dicha especie también es recomendada para programas de plantaciones comerciales (Eguiluz, 1978). Es importante mencionar que este pino aunque es considerado endémico de México ya se han reportado en plantaciones en otros países, prosperando en condiciones secas en Helvetia, Sudáfrica y en condiciones húmedas al sur de Brasil. También se han hecho plantaciones con fines de protección del ambiente en Zimbawue (Dvorak *et al.*, 2000). Por lo antes mencionado, es importante realizar estudios sobre las dimensiones transversales de traqueidas de *Pinus herrerae*, ya que no se conoce información sobre esta variación en esta especie, ni tampoco sobre índices de calidad de pulpa.

1.1 Objetivo e hipótesis

El objetivo del presente estudio fue estimar la variación entre localidades, entre árboles dentro de localidades y entre anillos dentro del árbol, del ancho de traqueida, el ancho de lumen y el grosor de la pared celular en *Pinus herrerae* de la región de Cd. Hidalgo, Mich., México.

Así mismo se plantearon las siguientes hipótesis nulas:

Ho: No existen diferencias en el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular de la madera tardía, entre cuatro localidades de la distribución natural de *Pinus herrerae* de la región de Ciudad Hidalgo, Mich.

Ho: No existen diferencias en el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular de la madera tardía, entre árboles dentro de cuatro localidades de la distribución natural de *Pinus herrerae* de la región de Ciudad Hidalgo, Mich.

Ho: No existen diferencias en el ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared celular de la madera tardía, entre anillos dentro de los árboles de *Pinus herrerae* de la región de Ciudad Hidalgo, Mich.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Descripción del área de estudio

El área de estudio la integran cuatro localidades: La Joya, Huajúmbaro, El Molcajete y San Antonio Villalongín, mismas que se encuentran ubicadas en la subprovincia fisiográfica denominada Mil Cumbres en la región de Ciudad Hidalgo, Mich., así mismo forman parte del Eje Neovolcánico Transversal en el que la especie en estudio se distribuye de manera natural (Ucodefo-2, 1994).

La primera localidad se ubica en el municipio de Zinapécuaro y las últimas tres en el municipio de Ciudad Hidalgo. Las localidades se encuentran ubicadas geográficamente entre las coordenadas 19° 30' 46" a 19° 50' 27" de latitud Norte y 100° 42' 14" a 100° 46' 02" de longitud Oeste (INEGI, 1997, 1998, 2000) (Figura 1) (Cuadro 1).

El área presenta altitudes que van desde los 2100 a 3000 msnm, con pendientes del 10 al 40 %. En el área de estudio predominan las exposiciones noreste, noroeste, sur, sureste y suroeste. Además ocurre un relieve contrastante en el que se distinguen mesetas, lomeríos y sierras (INEGI, 1997, 1998, 2000).

El material geológico se encuentra principalmente representada por rocas ígneas extrusivas de la era cenozoica, del período Terciario Superior; prevaleciendo el tipo de rocas como reolita de color verde, formando cuerpos compactos medianamente alterados. También en el área de estudio se encuentran andesitas de color rosa compactadas, las cuales subyacen a otra andesita de fracturamiento intenso y de color gris (DETENAL, 1978, 1979a).

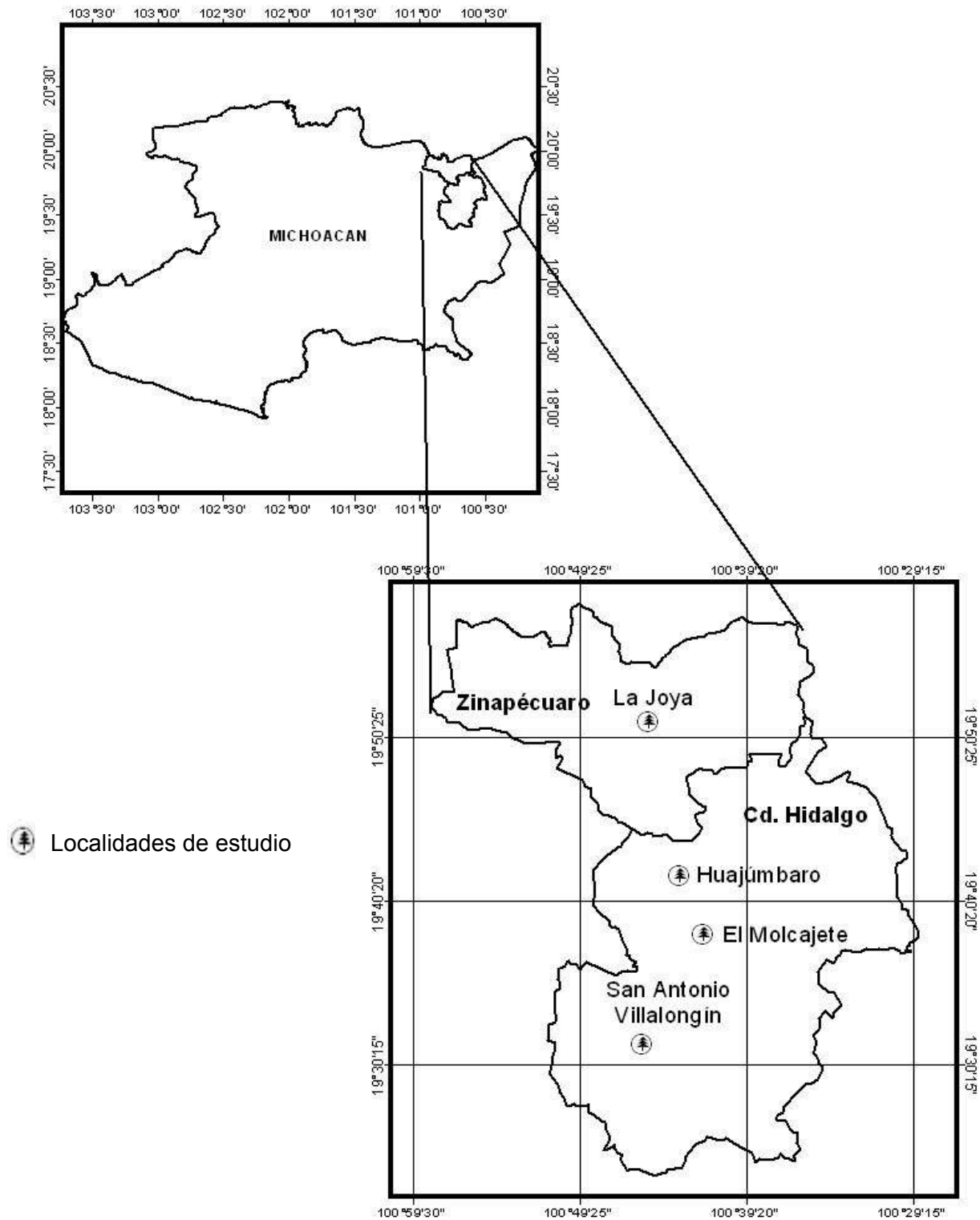


Figura 1. Ubicación geográfica de las cuatro localidades para el estudio de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía en *Pinus herrerae* Mtz. en la región de Ciudad Hidalgo, Mich. (Tomado de Hernández, 2007).

Cuadro 1. Ubicación geográfica de las localidades donde fueron colectadas las muestras de madera de *Pinus herrerae* Mtz. en Zinapécuaro y Ciudad Hidalgo, Michoacán.

Localidad	Municipio	n	Latitud Norte	Longitud Oeste	Altitud (msnm)
La Joya	Zinapécuaro	4	19° 50' 25"	100° 45' 08"	2380
			19° 52' 27"	100° 45' 20"	2300
Huajúmbaro	Cd. Hidalgo	5	19° 42' 12"	100° 43' 13"	2380
			19° 41' 42"	100° 43' 30"	2400
El Molcajete	Cd. Hidalgo	7	19° 38' 22"	100° 43' 13"	2540
			19° 38' 14"	100° 42' 48"	2550
San Antonio	Cd. Hidalgo	10	19° 30' 35"	100° 46' 20"	2100
			Villalongín	19° 32' 30"	100° 45' 56"

Fuente: (INEGI, 2000).

n = Número de árboles colectados por cada localidad.

El tipo de suelo predominante en la región es de tipo andosol, con textura media, con un drenaje clasificado como bueno y de profundidad media (DETENAL, 1979b, 1979c).

El área de estudio se encuentra en dos regiones hidrológicas (RH), la RH18 correspondiente a la Cuenca del Río Balsas y la región RH12 Sistema Fluvial Lerma Santiago. La mayor parte del área de estudio se encuentra en la RH18 Cuenca del Río Balsas, dentro de la cuenca hidrológica G Río Cutzamala (Ucodefo-2, 1994; SEMARNAP-UACH, 1999).

Cerca del área de estudio existen localidades con estaciones meteorológicas las cuales consideran la temperatura y precipitación pluvial media anual, así como coordenadas, la altura sobre el nivel del mar y la fórmula climática. Con lo cual en base a la información de las estaciones meteorológicas en la región predomina un clima templado con verano fresco y largo, el más húmedo de los subhúmedos con régimen de lluvias en verano, con una lluvia invernal entre 5 y 10.2 %, y una temperatura media anual que oscila entre 12 °C y 18 °C, con una precipitación media anual que oscila

desde los 800 hasta los 1360 mm, con el mas frio de -3 °C a 18 °C y el mes más caliente entre 6.5 °C y 22 °C que corresponde a la fórmula climática Cb (w2) (w) (i') (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características del clima que presentan los lugares con estaciones meteorológicas cercanas a las localidades en estudio.

Localidad (nombre)	Temperatura (°C)			Pp. m. a. (mm)	Coordenadas		Asnm (m)	Fórmula climática
	Media	Máxima	Mínima		Lat. N	Long. W		
Agostitlán	14.0	16.1	10.9	1,360.9	19° 32'	100° 40'	2500	Cb(w2)(w)(i')
Pucuateo	13.4	15.4	10.2	1,322.8	19° 42'	100° 39'	2506	Cb(w2)(w)(i')g
Sabaneta	13.6	15.9	10.4	1,350.2	19° 40'	100° 41'	2503	Cb(w2)(w)(i')g
Tepuxtepec	15.6	18.5	12.3	844.5	19° 59'	100° 13'	2330	Cb(w1)(w)(i')g

Fuente: (García, 1988).

Pp. m. a. = Precipitación pluvial media anual; Lat. N = Latitud Norte; Long. W = Longitud Oeste; Asnm = Altura sobre el nivel del mar.

La vegetación que prevalece en el área de estudio está constituida por tres estratos: arbóreo, arbustivo y herbáceo; el primero está compuesto por las especies, *Pinus herrerae*, *P. pseudostrobus* Lindl., *P. montezumae* Lamb., *P. michoacana* Mtz., *P. leihophylla* Schl. & Cham., *Abies religiosa* Schl. y *Quercus catanea* Neé, *Q. crassifolia* Hum. et Bonpl., *Q. obtusata*, *Q. microphylla* Neé, *Q. laurina* Humb & Bonpl., *Agnus firmifolia* Fern., *A. arguta* Spach., *Crateagus mexicana* Moc. & Sessé, y *Arbutus xalapensis* H.B.K. (Martínez et al., 1987).

En el segundo estrato se encuentran las especies, *Terpstroemis pringlei*, *Baccharis conferta* H.B.K., *Dodonaea viscosa* (L) Jacp., *Urtica dioica* Willd, *Arctostaphylos longifolia*, *Rubus pringlei*, *Solanum nigrum* L., *Eupatorium glabratum* H.B.K. y *Buddleia sessiliflora* H.B.K. (Martínez et al., 1987).

El tercer estrato se encuentra constituido por, *Alchemilla procumbens* Rose, *Arenaria lanuginosa* Rohrb., *Eryngium palmeri*, *Generanium seemanni* Peyr., *Muhlenbergia robusta* (Fourn.) Hitchc., *Oxalis alpina* Rose, *Panicum bulbosum* H.B.K y *Stipa virens* H.B.K. (Martínez *et al.*, 1987).

2.2 Trabajo de campo

Con el apoyo de cartografía a escala 1:50,000 se ubicaron cuatro localidades de la región de Cd. Hidalgo, Mich., donde se distribuye de manera natural *Pinus herrerae*. En cada localidad se seleccionaron árboles adultos, dominantes y codominantes, resinados y no resinados, cuidando que éstos estuvieran libres de plagas y enfermedades, así, como de daños naturales. El número de árboles en cada localidad varió de cuatro a 10 árboles con un total de 26 árboles (Cuadro 1) (Mares, 2003).

Para coleccionar las muestras, primeramente se hizo un recorrido con los objetivos de reconocer el área de estudio en el que se encuentran los sitios donde se distribuye de manera natural *Pinus herrerae*; así como también ver las áreas que estaban bajo aprovechamiento para observar la presencia de árboles dominantes y/o codominantes. El segundo recorrido se hizo con los objetivos de seleccionar los árboles dominantes y/o codominantes, resinados y no resinados, así mismo para llevar a cabo el derribo de los mismos y seccionar las trozas a lo largo del fuste a medidas comerciales 8' (2.54 m) y extraer una rodaja de 3 a 6 cm de grosor en cada árbol, al final de la primera troza comercial con una altura de corte variable que va desde 2.70 hasta 5.25 metros de altura. En los recorridos que se realizaron se observó que la resinación es una práctica común en esta región, ya que la mayoría de los árboles presentes en el área se encontraban resinados. Una vez realizado lo anterior las rodajas coleccionadas fueron trasladadas al laboratorio del Departamento Forestal, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, para su posterior análisis y acondicionamiento (Mares, 2003).

2.3 Trabajo de laboratorio

El trabajo de laboratorio consistió en un proceso en el que se llevaron a cabo varias actividades. Se inició con la obtención de muestras de madera hasta llegar a la medición de las traqueidas. En seguida se describirán cada una de éstas actividades.

2.3.1 Obtención de muestras de madera

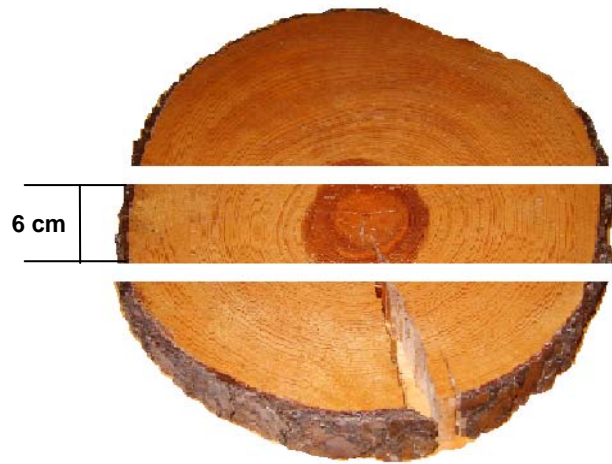
A cada rodaja se le extrajo una faja de madera de 6 cm de ancho, se identificó con una clave, que se denominó sección "A y B", la clave de la localidad, el número de árbol y la altura de corte; considerando la médula como la parte divisora entre las secciones de la muestra. Así también, cada sección de la muestra, se subseccionó en pequeñas muestras de cada 10 anillos de crecimiento, empezando de la médula hacia afuera, es decir, de la madera juvenil a la madera madura (Figura 2).

2.3.2 Obtención de anillos de madera tardía

En cada faja de madera se extrajo la madera tardía del quinto y décimo anillo de cada sección (Figura 2). Para obtener la madera tardía de cada anillo, con una navaja se cortó la madera temprana (parte clara), esto con la ayuda de una lupa (de preferencia) para dejar solamente la parte de madera tardía, posteriormente se cortaron de 2 a 3 pedazos de madera de aproximadamente 1 cm², mismos que se colocaron en frascos de vidrio de 10 ml y fueron etiquetados con una clave propia. Por ejemplo: "SAV.1.5", SAV representa la clave de la localidad, 1 el número de árbol y 5 el número de anillo. Es importante mencionar que la mayoría de los anillos que se extrajeron fueron del lado A y si los anillos se encontraban muy maltratados o resinados de dicho lado, se extrajeron del lado B, esto se hizo con la finalidad de utilizar a los mejores anillos de cada una de las secciones.



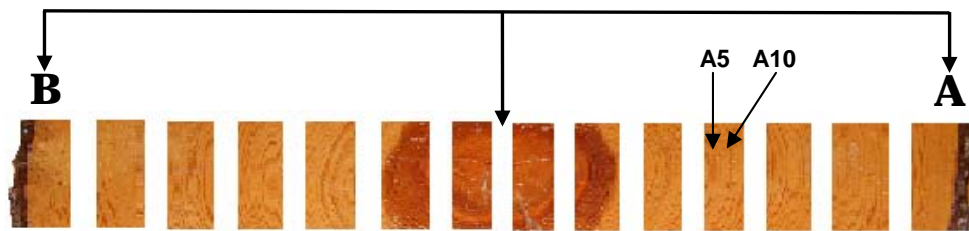
Rodaja de madera



Rodaja de madera seccionada



Faja de madera



A = Anillo

Seccionado de la faja de madera cada 10 años de edad

Figura 2. Representación esquemática de corte de rodaja, extracción y seccionado de la faja de madera.

2.3.3 Disociación de la madera

Para realizar la disociación de la madera en el presente trabajo se utilizó el método de Franklin modificado por Rodríguez (1998). Para llevar a cabo la disociación de la madera, se hizo una mezcla de ácido glacial acético y peróxido de hidrógeno al 30% en proporción 1:1. A cada uno de los frasquitos se les agregó 4 ml de la solución anterior, posteriormente éstos se incubaron en la estufa a 70 °C, por un periodo de 24 a 36 horas. Concluído el periodo de incubación, se observó que las muestras adquirieron un color plateado, característica principal que indica que es debido al efecto de la desintegración de la lámina media y en algunas otras mostraron un color amarillo debido que estas muestras contenían mucha resina. Posteriormente, el material se lavó de dos a tres veces con agua corriente para eliminar el exceso de la solución anterior, luego se agitaron fuertemente para obtener una mejor disociación de la madera. Es importante mencionar que en el proceso de disociación de la madera se observó que cuando las muestras se metían tapadas a la estufa éstas se tiraban debido a la presión del calor, por lo cual se decidió por tapar los frasquitos con papel aluminio con un agujero en la parte superior para evitar que las muestras se tiraran y además de que éstas se secaran al evaporarse.

2.3.4 Teñido de fibras

Una vez que el material se encontraba bien disociado, se procedió al teñido de las fibras con safranina y se dejó reposar por 24 horas, para tener una mejor tinción de éstas. Para llevar a cabo lo antes mencionado en el presente trabajo se realizó una mezcla con safranina, alcohol al 96% y agua destilada. Para teñir 10 muestras (frasquitos con madera tardía), se agregaron por cada 50 ml de agua y 5 ml de alcohol, 0.125 gr. de safranina y esto fue la base para hacer los cálculos necesarios para un determinado número de muestras para el teñido de las fibras. Una vez hecha dicha mezcla a cada uno de los frasquitos se les agregó 4 ml de la solución anterior. Concluida la tinción, se lavó el material con agua destilada de dos a tres veces para

eliminar el exceso de colorante, utilizando para esto un colador pequeño y trozos de medias, para evitar que las fibras se perdieran, el material ya lavado se colocó en su respectivo frasco y se les agregó 5 ml de agua destilada y 3 gotas de formaldehído para preservar el material.

2.3.5 Preparación de laminillas

Para llevar a cabo la preparación de las laminillas permanentes se utilizó un microscopio estereoscópico, en el que se colocó un portaobjetos y con una aguja se extrajo una pequeña muestra de los frasquitos de donde se encuentra el material disociado, enseguida se procedió a alinear las traqueidas una por una hasta alinear por lo menos 20 traqueidas, pero en este estudio se alinearón 30 y a veces más, debido a que muchas de las traqueidas se encontraban quebradas o dobladas, las cuales según lo observado se secaban y se enrollaban muy rápidamente lo que dificultaba el alinearlas, esto permitió elegir a las mejores traqueidas al momento de la medición. Una vez alineadas se les agregó una gota de bálsamo de Canadá disuelto en xilol y encima se les colocó un cubreobjetos para su fijación permanente; ya montadas todas las laminillas éstas se metieron a la estufa a una temperatura que oscilaba entre 40 y 45 °C por un período de 24 a 36 horas, para acelerar el secado de éstas y evitar que al momento de medir se movieran; finalmente los portaobjetos fueron etiquetados con base a la información que cada frasquito contenía.

2.3.6 Medición de las traqueidas

En el presente trabajo 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 compuesto, el cual fue previamente calibrado, con objetivo de 40 X, ya que con éste se observó con mejor claridad cada una de las características a evaluar, además de que

se tiene mejor precisión en las mediciones. Dichas mediciones se hicieron con una reglilla graduada sin unidades y para convertirlas a micras sólo se multiplicó 2.5μ por el número de líneas observadas en la reglilla. Cabe mencionar que el 2.5μ fue un factor que resultó de la calibración del microscopio con el objetivo de 40 X.

2.4 Análisis estadístico

Para llevar a cabo el análisis estadístico, primeramente se estimó el tamaño de muestra para saber si éste era el adecuado para realizar las mediciones correspondientes. Para lo cual se tomaron al azar 10 laminillas para realizar el muestreo. De cada una de las laminillas, que representa una unidad de muestreo, se midieron 20 traqueidas. Los valores fueron capturados en Excel para obtener la varianza y la media de cada una de las muestras. El valor de la t de Student se obtuvo con las tablas estadísticas tomando en cuenta un valor de alfa de $0.05/2$, el cual fue de 0.025 . Para estimar el error de medición, una vez medidas las 20 traqueidas se obtuvo una media y con ésta se calculó un porcentaje entre 5 y 18 % de ese valor cuyo resultado fue el que se utilizó como error. Enseguida se procedió a calcular el tamaño de muestra mediante la fórmula que Infante y Zárate (1990) señalan para el muestreo al azar:

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

Donde:

- n = tamaño de muestra
- t = valor de t de Student
- s^2 = varianza muestral
- E = error permisible

Es importante mencionar que al calcular el tamaño de muestra con el 5 % de error permisible con respecto a la media éste fue muy grande y con el 18 % disminuyó de forma considerable y fue más aceptable. Por lo que se decidió medir únicamente 20 traqueidas, debido a que usar el tamaño de muestra estimado con 5 % de error, implicaría un elevado costo y un tiempo significativamente muy grande para realizar el trabajo. Además se tuvo como referencias otros trabajos donde el número de traqueidas medidas por unidad de muestreo fue igual o menor a 20 (Feria y Eguiluz, 1989; Ibarra, 1999; Tinajero, 2004).

Todos los datos que se obtuvieron en el laboratorio de ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared fueron capturados y posteriormente procesados mediante el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System), también mediante este sistema se hizo una revisión y corrección de los datos para eliminar datos no representativos. Enseguida se hicieron varios programas para obtener valores promedios de cada variable y de los índices de calidad de pulpa: Coeficiente de rigidez (C.R.), Coeficiente de flexibilidad (C.F.) y Relación Runkel (R.R.). Después se obtuvieron análisis de varianza y componentes de varianza, prueba de diferencia de medias y correlación simple (correlación de Pearson).

Los índices de calidad de pulpa se calcularon mediante las fórmulas siguientes:

$$\text{C.R.} = 2w / D \text{ (Villaseñor y Rutiaga, 2000)}$$

$$\text{C.F.} = \ell / D \text{ (Villaseñor y Rutiaga, 2000)}$$

$$\text{R.R.} = 2w / \ell \text{ (Larios, 1979)}$$

Donde:

- C.R. = coeficiente o índice de rigidez
w = grosor de la pared de la fibra
D = diámetro de la fibra
C.F. = coeficiente de flexibilidad
 ℓ = diámetro del lumen
R.R. = relación de Runkel

El análisis de varianza, se realizó adaptando el siguiente modelo lineal (Infante y Zárate, 1990):

$$Y_{ijkl} = \mu + L_i + A_{j(L_i)} + AN_{k(j, L_i)} + E_{ijkl}$$

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

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

$k = 1, 2, 3, 4 \dots 24$ (Número máximo de anillos por árbol)

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

Donde:

μ = efecto de la media general

L_i = efecto de la i ésima localidad

$A_{j(L_i)}$ = efecto del j ésimo árbol dentro de la i ésima localidad

$AN_{k(A_j, L_i)}$ = efecto del k ésimo anillo en el j ésimo del árbol dentro de la i ésima localidad

E_{ijkl} = efecto de la l ésima traqueida en el k ésimo anillo en el j ésimo árbol, de la i ésima localidad

Asimismo, se realizaron análisis de componentes de varianza, ya que éstos muestran el efecto de cada localidad, el efecto de árboles dentro de cada localidad, efectos de los anillos dentro de todos los árboles de todas las localidades, al obtener los componentes de los cuadrados medios esperados, para lo cual se uso el mismo modelo anidado (Cuadro 3).

Cuadro 3. Componentes de los cuadrados medios para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus herreraei* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Mich.

F. V.	gl	CM	Componentes de los CME
Loc	L - 1	CML	$\sigma^2 e + k_4 \sigma^2 c + k_5 \sigma^2 b + k_6 \sigma^2 a$
Arb (Loc)	$\sum a_i - 1$	CMA	$\sigma^2 e + k_2 \sigma^2 c + k_3 \sigma^2 b$
An (Arb Loc)	$\sum \sum a_{ij} - 1$	CMAN	$\sigma^2 e + k_1 \sigma^2 c$
Error	$(\sum \sum \sum \text{Loc an m}) - 1$	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 de árbol; Loc = Localidad; Arb (Loc) = Árboles dentro de localidades; An (Arb Loc) = Anillos de los árboles dentro de localidades; a = árboles; an = anillos; m = Número de muestras dentro de árboles 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 las localidades; $\sigma^2 a$ = Varianza de las localidades; $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6$ = Constantes de media armónica para número de árboles dentro de localidades, de anillos dentro de árboles, y de muestras dentro de anillos.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Medidas de tendencia central y de dispersión

Los valores promedio de las tres variables en estudio (ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared celular) (Cuadro 4) indican que se trata de traqueidas extremadamente grandes de diámetro, de lumen y de grosor de la pared celular, de acuerdo con la clasificación de Ortega *et al.* (1988) (Apéndice 1).

Cuadro 4. Medidas de tendencia central y de dispersión de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía en *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

Variable	n	Valor			s (micras)	C. V. (%)	EE
		Medio (micras)	Mínimo (micras)	Máximo (micras)			
A.T	7675	43.48	17.50	92.50	10.73	24.68	0.1225
A.L	7675	28.39	2.50	87.50	11.93	42.02	0.1361
G.P	7675	7.54	2.50	17.50	3.01	39.86	0.0343
C.R	7675	0.36	0.05	0.92	0.15	41.70	0.0017
C.F	7675	0.64	0.08	0.94	0.15	23.82	0.0017
R.R	7675	0.69	0.06	12.00	0.56	81.36	0.0064

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; s = Desviación estándar; C. V. = Coeficiente de variación; EE = Error estándar;

Una comparación con otros estudios y de acuerdo con la clasificación de Ortega *et al.* (1988) muestra que la mayoría de las coníferas de las cuales se obtuvo información, quedan clasificadas como extremadamente anchas de traqueida, extremadamente anchas de lumen y extremadamente gruesas o grandes de pared celular, salvo en el

caso de algunas variables que fueron calificadas como muy grande de grosor de pared y ancho de lumen, como se puede apreciar en el Cuadro 5.

Las dimensiones transversales de las traqueidas varían considerablemente entre especies (Cevallos y Carmona, 1981), y aún dentro de las mismas coníferas. Por ejemplo, en un catálogo del INIF sobre estudios tecnológicos de maderas, se reporta información sobre ancho de traqueida y grosor de pared, para un conjunto amplio de especies. Algunas de las coníferas que se señalan son, *Pinus michoacana* var. *cornuta*, *P. pinceana*, *P. pseudostrobus*, *P. arizonica*, *P. chihuahuana*, *P. durangensis*, *P. engelmannii*, *P. greggii*, *P. quadrifoliata* y *P. strobus* var. *chiapensis*, entre otras. Sin embargo, para cada variable reportan dos valores promedio, tal es el caso de *P. michoacana* var. *cornuta* que se reportan valores promedio de 26 a 46 micras para ancho de traqueida y de 2.8 a 6.7 micras para grosor de pared (Cevallos y Carmona, 1981). Dada la amplitud de los valores se dificulta usar la clasificación de Ortega *et al.* (1988).

De acuerdo con la distribución normal, se sabe que la media más menos una desviación estándar ($\bar{x} \pm s$) se estima alrededor del 68 % de la población, de modo que para el ancho de traqueida presenta un valor de 43.48 ± 10.73 micras, se tendría alrededor del 68 % de las traqueidas se encuentran entre los valores 32.75 y 54.21 micras, con una media poblacional entre 43.24 y 43.72 micras, de acuerdo a las fórmulas de intervalos de confianza (Infante y Zárate, 1990), en lo que respecta al ancho de lumen se tiene un valor de 28.39 ± 11.93 y considerando una distribución normal, alrededor del 68 % de las traqueidas se encuentran entre los valores 16.46 y 40.32 micras y su media entre 28.12 y 28.66 micras. Para el grosor de pared se tiene un valor de 7.54 ± 3.01 micras, y de tal manera que considerando una distribución normal, alrededor del 68 % de las traqueidas se encuentran entre los valores 4.53 y 10.55 micras y la media entre 7.48 y 7.6 micras.

Cuadro 5. 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 medio (micras)	Extremadamente pequeño	Moderadamente pequeño	Moderadamente grande	Muy grande	Extremadamente grande
<i>Pinus herrerae</i> ¹	Ancho de traqueida	43.48					X
	Ancho de lumen	28.39					X
	Grosor de la pared	7.54					X
<i>Pinus teocote</i> ²	Ancho de traqueida	33.25					X
	Ancho de lumen	20.12					X
	Grosor de la pared	6.48					X
<i>Pinus rudis</i> ³	Ancho de traqueida	36.0					X
	Ancho de lumen	25.5					X
	Grosor de la pared	5.3				X	
<i>Pinus patula</i> ⁴	Ancho de traqueida	45.49					X
	Ancho de lumen	27.42					X
	Grosor de la pared	9.03					X
<i>Pinus rudis</i> ⁴	Ancho de traqueida	41.83					X
	Ancho de lumen	23.35					X
	Grosor de la pared	9.23					X
<i>Pinus oaxacana</i> ⁴	Ancho de traqueida	40.12					X
	Ancho de lumen	24.03					X
	Grosor de la pared	8.04					X
<i>Pinus teocote</i> ⁴	Ancho de traqueida	43.91					X
	Ancho de lumen	19.46					X
	Grosor de la pared	12.22					X
<i>Pinus hartwegii</i> ⁵	Ancho de traqueida	37.99					X
	Ancho de lumen	15.31				X	
	Grosor de la pared	11.34					X

¹Presente trabajo, ²Tinajero (2004), ³Ibarra (1999), ⁴Torres y Eguiluz (1989), ⁵Hernández (1985).

Los índices de calidad en pulpas son de gran importancia, ya que mediante éstos se puede saber de antemano lo que se puede esperar al emplear una u otra especie, así como también son los que van a determinar la calidad de pulpa para el papel. Entonces se puede decir que se esperaría producir una pulpa de buena calidad con aquellas especies maderables que presentan un valor alto en el coeficiente de flexibilidad (C.F.) y valores bajos en el coeficiente de rigidez (C.R.), en el índice de esbeltez (I.E.) y en la relación de Runkel (Tamarit, 1996).

Larios (1979) menciona que los índices de calidad de pulpa se encuentran relacionados con los procesos de lavado, depurado, así como también con la formación de la hoja, la densidad, el enlazado, la rigidez y la resistencia a la fuerza de tensión. Por otro lado, Torres y Eguiluz (1989), Tamarit (1996), y Ortega (1999), mencionan que la calidad de las pulpas no batidas afectan al coeficiente de rigidez ya que de ésta depende la resistencia al rasgado del papel aun cuando sus fibras sean largas.

Respecto a las propiedades del papel, es una idea generalizada que las fibras largas dan mayor resistencia a la tensión, y por lo general, esta propiedad es la que más se asocia con la mayor resistencia del papel. Pero se ha encontrado que dicha característica depende no sólo de la longitud de las fibras, sino además de otras dimensiones como es el grosor de la pared (Tamarit, 1996).

Torres y Eguiluz (1989), y Tamarit (1996) mencionan que el coeficiente de flexibilidad en las pulpas sin batir se ve afectado en la explosión, tensión y resistencia al doblez del papel, la cual se encuentra directamente relacionado con las pulpas craff. La relación Runkel clasifica a una especie de acuerdo a diferentes grados de calidad (Apéndice 2).

Con los valores calculados del coeficiente de rigidez (Cuadro 4) y de acuerdo a la clasificación (Apéndice 3), las traqueidas de *Pinus herrerae* se clasifican como media, las cuales son traqueidas que no se colapsan o se colapsan muy poco con poca a muy

poca superficie de contacto con pobre o poca unión de traqueida a traqueida (Apéndice 4).

Para el coeficiente de flexibilidad (Cuadro 4) y de acuerdo a la clasificación (Apéndice 4), las traqueidas para esta especie se clasifica como media, la cual al igual que el coeficiente de rigidez son traqueidas que se colapsan poco, y tienen poca superficie de contacto con poca a pobre unión de traqueida a traqueida.

La relación Runkel presentada (Cuadro 4) y de acuerdo a la clasificación (Apéndice 2), las traqueidas de la madera de *Pinus herrerae* fueron clasificadas como buenas para papel, con un grado de calidad III.

Trabajos relacionados a este estudio han clasificado a las especies en base a los índices de calidad de pulpa, para determinar que tan buena o mala es la madera de una determinada especie para producir pulpa de buena calidad. Por ejemplo, en el Cuadro 6 se puede observar cada uno de los diferentes índices y los valores de cada uno de ellos, en el que por ejemplo en base a la relación Runkel se observa que hay especies que tienen madera desde excelentes hasta malas para producir pulpa para papel; entre estos podemos ver que *Persea americana* es de calidad excelente (Tamarit, 1996), *P. rudis* de calidad muy buena (Ibarra, 1999), *P. patula* de calidad buena, *Pinus teocote* de calidad regular (Torres y Eguiluz, 1989) y *Quercus crassifolia* de calidad mala (Tamarit, 1996). Nótese que en este cuadro existen dos especies repetidas como lo son *Pinus teocote* y *Pinus rudis* pero estudiadas por diferentes autores, en la cual recibieron clasificaciones diferentes, para la primera de buena a regular calidad y en la segunda de muy buena a buena calidad de pulpa para papel; esto da una idea de cómo una misma especie puede ser de buena o mala calidad de madera según las condiciones ambientales en donde se desarrolle e incluso a la propia genética de cada especie procedencia o familia.

El coeficiente de variación de el presente trabajo para las tres variables estudiadas fue muy variable entre sí, con un porcentaje más alto para el ancho de lumen (42.02 %),

seguido por el grosor de la pared (39.86 %) y por último el ancho de traqueidas (24.68) (Cuadro 4).

Cuadro 6. Índices de calidad de pulpa en algunas especies de coníferas y latifoliadas en lo que respecta a las dimensiones transversales de traqueidas.

Especie	C.R	C.F	R.R	Clasificación	Autor
<i>Pinus herrerae</i>	0.35	0.65	0.53	Buena	Presente trabajo
<i>Pinus teocote</i>	0.39	0.61	0.64	Buena	Tinajero (2004)
<i>P. rudis</i>	0.29	0.71	0.41	Muy buena	Ibarra (1999)
<i>P. patula</i>	0.39	0.60	0.65	Buena	Torres y Eguiluz (1989)
<i>P. oaxacana</i>	0.40	0.59	0.66	Buena	Torres y Eguiluz (1989)
<i>P. rudis</i>	0.44	0.55	0.79	Buena	Torres y Eguiluz (1989)
<i>P. teocote</i>	0.55	0.44	1.25	Regular	Torres y Eguiluz (1989)
<i>Persea americana</i>	0.18	0.81	0.23	Excelente	Tamarit (1996)
<i>Jacaranda acutifolia</i>	0.28	0.71	0.40	Muy buena	Tamarit (1996)
<i>Casuarina esquistifolia</i>	0.35	0.64	0.54	Buena	Tamarit (1996)
<i>Cedrella odorata</i>	0.36	0.63	0.57	Buena	Tamarit (1996)
<i>Enterolobium cyclocarpum</i>	0.37	0.62	0.58	Buena	Tamarit (1996)
<i>Populos mexicana</i>	0.38	0.61	0.61	Buena	Tamarit (1996)
<i>Populos simaroa</i>	0.41	0.58	0.70	Buena	Tamarit (1996)
<i>Quercus fulva</i>	0.47	0.52	0.90	Buena	Tamarit (1996)
<i>Quercus resinosa</i>	0.62	0.37	1.66	Regular	Tamarit (1996)
<i>Prosopislaevigata</i>	0.66	0.33	2.00	Regular	Tamarit (1996)
<i>Platanus mexicana</i>	0.70	0.29	2.40	Mala	Tamarit (1996)
<i>Quercus crassifolia</i>	0.76	0.23	3.20	Mala	Tamarit (1996)

C.R = coeficiente de rigidez, C.F. = coeficiente de flexibilidad, R.R. = Relación Runkel, NOTA: La clasificación se hizo únicamente tomando en cuenta la relación Runkel de cada especie.

En algunos estudios sobre las dimensiones transversales de traqueidas se reportan coeficientes de variación para *Pinus rudis* en el ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared de 19.2, 25.5 y 20.0 % (Ibarra, 1999); así mismo en *Pinus*

teocote se reportan valores 29.23, 27.74 y 19.61 % (Tinajero, 2004). En longitud de traqueida se han encontrado valores de coeficiente variación para *Pinus rudis* de 33.5 % (Rodríguez, 1998) y para *Pinus teocote* de 27.62 % (Maldonado, 2004). En cuanto a otros estudios realizados en densidad de la madera se pueden encontrar valores reportados para *Pinus estevezii* de 13.81 % (López, 2004) y para *Pinus herrerae* de 12.89 % (Hernández, 2007). Esto muestra que al relacionar los valores de este trabajo con los anteriores indica que el ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared presentan mayor variabilidad tanto para las mismas variables en diferentes especies como en densidad de la madera y muy similar respecto a la longitud de traqueidas.

Otro estimador estadístico importante a considerar es el error estándar, ya que toma en cuenta la desviación estándar, así como el número de muestras de un determinado trabajo. En el presente trabajo el valor más alto de error estándar fue el ancho de lumen, luego el ancho de traqueida, y finalmente, el grosor de la pared (Cuadro 7).

Cuadro 7. Error estándar para diferentes trabajos en el ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared.

Especie	Ancho de traqueida	Ancho de lumen	Grosor de la pared
<i>Pinus herrerae</i> ¹	0.12	0.14	0.03
<i>Pinus teocote</i> ²	0.14	0.12	0.04
<i>Pinus patula</i> ³	0.216	0.242	0.116
<i>Pinus rudis</i> ³	0.179	0.153	0.088
<i>Pinus oaxacana</i> ³	0.240	0.212	0.096
<i>Pinus teocote</i> ³	0.183	0.148	0.095
<i>Pinus hartwegii</i> ⁴	0.076	0.062	0.024

¹Presente trabajo, ²Tinajero (2004), ³Torres y Eguiluz (1989) ⁴Hernández (1985).

En relación con otros estudios se han reportado para el error estándar valores que van desde 0.14 a 0.240 en el ancho de traqueida y de 0.12 a 0.242 para el ancho de lumen y de 0.04 a 0.116 para el grosor de la pared, en algunos muy similares al presente estudio como el *Pinus teocote* y otros con valores superiores como es el *Pinus oaxacana*. Estos estudios han trabajado con las mismas variables pero en algunos con diferentes fuentes de variación, por ejemplo en *Pinus patula*, *Pinus rudis*, *Pinus oaxacana* y *Pinus teocote* tomaron en cuenta la variación existente entre especies y árboles dentro de especies (Torres y Eguiluz, 1989); en *Pinus hartwegii* se consideró la variación entre sitios y dentro del árbol (Hernández, 1985) y en *Pinus teocote* se considero árboles, alturas de fuste y clases de edad (Tinajero, 2004) (Cuadro 7).

3.2 Análisis de varianza

El análisis de varianza muestra que hubo efectos altamente significativos entre localidades, entre árboles dentro localidades y entre anillos de los árboles dentro localidades ($P \leq 0.0001$) (Apéndice 5). De esta manera se rechazan las tres hipótesis nulas planteadas en el presente estudio, lo cual significa que existen diferencias altamente significativas entre localidades, entre árboles y entre anillos.

Existen estudios en los que han considerado como fuentes de variación localidades y árboles, en la cual se han encontrado diferencias para ambas fuentes de variación, por ejemplo en *Pinus strobus* var. *chiapensis* (Yáñez y Caballero, 1991) y en *P. herrerae* (Hernández, 2007). Otros estudios con especies en los que han considerado distintas fuentes de variación como especies y árboles también se han encontrado diferencias significativas en las dos fuentes de variación, como lo son las cuatro especies estudiadas por Torres y Eguiluz (1989); Tinajero (2004) para *P. teocote* consideró fuentes de variación de alturas de rodaja y clases de edad, encontrando diferencias para las dos fuentes de variación; Ibarra (1999) en *P. rudis* consideró árboles, alturas de rodajas y secciones y encontró diferencias en todas las fuentes de variación.

Con lo anterior, se puede notar que existe una gran variación en las diferentes fuentes de variación estudiadas, lo que lleva a remarcar las diferencias que existe en la mayoría o todos los niveles de variación, de la cual la variación geográfica y las diferencias que existen de un árbol a otro explican la mayor parte de la variación genética encontrada dentro de una especie de árbol que crece en rodales naturales; estas dos variables explican casi el 90 % de toda la variación observada (Zobel y Talbert, 1988).

3.3 Análisis de los componentes de varianza

Con base a los componentes de varianza estimados indican que el mayor porcentaje de variación se presenta a nivel de error en las tres variables: ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de pared con un 69.32 %, 72.392 % y 64.325 %, respectivamente. Analizando los componentes de varianza para cada variable se puede ver que en 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, como se puede notar en el Cuadro 8 (Apéndice 6).

En trabajos donde se han estudiado las dimensiones transversales de traqueidas, como el de Tinajero (2004) a nivel de árboles, alturas de fuste y clases de edad se encontró que el mayor porcentaje de variación se le atribuyó a la clase de edad para las tres variables estudiadas; Ibarra (1999) 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, mientras que en el ancho de lumen el mayor porcentaje de variación se le atribuyó al efecto de secciones.

Cuadro 8. Análisis de los componentes de varianza estimados en porcentaje de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de las cuatro localidades de distribución natural de *Pinus herrerae* Mtz. en la región de Ciudad Hidalgo, Mich.

F. V.	gl	C. V. E %		
		Ancho de traqueida	Ancho de lumen	Grosor de la pared
Loc	3	0.00	0.00	0.00
Arb (Loc)	22	8.27	8.85	10.40
An (Arb Loc)	359	23.14	18.85	25.55
Error	7290	69.32	72.39	64.32

F. V. = Fuente de variación; gl = grados de libertad; C. V. E. % = Componente de varianza estimado en porcentaje; Loc = Localidad; Arb(Loc) = Árboles dentro de localidades; An Arb(Loc) = Anillos de los árboles dentro de localidades.

Otros estudios en donde se han estudiado el efecto de poblaciones y árboles, se han encontrado que las diferencias entre árboles contribuye más a la variación total que las diferencias entre poblaciones, como son los reportados en densidad relativa y longitud de traqueida para *P. strobus* var. *chiapensis* (Yáñez y Caballero, 1991), así como en densidad de la madera para *P. greggii* (López y Valencia, 2001), *P. estevezii* (López, 2004) y *Pseudotsuga* (Zúñiga, 1998), entre otros.

También al estudiar como fuentes de variación regiones, sitios y árboles, se ha encontrado que las diferencias entre árboles contribuyen más a la variación total, como son los casos reportados en densidad de la madera para *Pinus engelmannii* (Tzab, 2002) y *Pinus arizonica* (Arroyo, 2001). Lo que confirma lo señalado por Zobel y Talbert (1988) que este tipo de característica tiende a ser de control genético, por lo cual este es el principal tipo de variación que el genetista forestal utiliza en un programa de selección y cruzamiento genético.

3.4 Variación entre localidades

En el presente trabajo el análisis de varianza arrojó diferencias estadísticas entre localidades en el ancho de traqueida, en donde El Molcajete presentó el mayor valor (44.30 micras) y fue estadísticamente diferente de Huajúmbaro (42.02 micras) y La Joya (42.54 micras); también hubo diferencias entre localidades en el ancho de lumen con un valor mayor en El Molcajete (29.56 micras) y estadísticamente diferente de Huajúmbaro (25.59 micras) y La Joya (28.30 micras); así mismo fue para el grosor de pared en el que Huajúmbaro presentó el mayor valor (8.22 micras) y estadísticamente diferente de San Antonio Villalongín (7.59 micras), El Molcajete (7.37 micras) y La Joya (7.12 micras) (Cuadro 9).

En relación con los índices de calidad de pulpa se encontraron diferencias entre localidades. La localidad Huajúmbaro presentó los valores más altos en el coeficiente de rigidez (0.41) y relación Runkel (0.84) y el valor más bajo en el coeficiente de flexibilidad (0.59) y fue estadísticamente diferente a las otras tres localidades (Cuadro 10).

De acuerdo con 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, por lo que Huajúmbaro tiene los índices de menor calidad o características menos deseables, en comparación con las otras tres localidades. Sin embargo, con base en la clasificación de los índices de calidad de pulpa que señalan Larios (1979) y Villaseñor y Rutiaga (2000) (Apéndice 2, 3 y 4), todas las localidades son clasificadas como buenas para producir pulpa para la elaboración de papel, de acuerdo con los valores de los índices antes señalados.

Cuadro 9. Prueba Tukey para separación de medias entre cuatro localidades para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

Localidad	n	Ancho de traqueida		Ancho de lumen		Grosor de la pared	
		Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey
La Joya	4	42.54	b	28.30	b	7.12	d
Huajúmbaro	5	42.02	b	25.59	c	8.22	a
El Molcajete	7	44.30	a	29.56	a	7.37	c
San Antonio Villalongín	10	44.00	a	28.81	a b	7.59	b

n= número de árboles de cada localidad; Valor utilizado de $\alpha= 0.05$.

Cuadro 10. Prueba Tukey para separación de medias con los índices de calidad de pulpa entre cuatro localidades para las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

Localidad	n	Coeficiente de rigidez		Coeficiente de flexibilidad		Relación Runkel	
		Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey	Media (micras)	Agrupación Tukey
La Joya	4	0.35	b	0.65	a	0.64	b
Huajúmbaro	5	0.41	a	0.59	b	0.84	a
El Molcajete	7	0.35	b	0.65	a	0.66	b
San Antonio Villalongín	10	0.36	b	0.64	a	0.67	b

n= número de árboles de cada localidad; Valor utilizado de $\alpha= 0.05$

3.5 Variación entre árboles

Para un programa de mejoramiento genético donde incluya las dimensiones transversales de traqueidas, las mayores oportunidades de selección se presenta al momento de hacer la selección entre árboles dentro de las cuatro localidades. Ya que por ejemplo, en la Joya con tan sólo cuatro árboles muestreados, se presentaron valores a nivel de árbol para el ancho de traqueida desde 20.0 hasta 92.5, en ancho de lumen valores de 5.0 hasta 87.5 y en el grosor de la pared valores desde 2.5 a 17.5, esto muy similar a las otras tres localidades (Apéndice 7). Esto demuestra que aun cuando en la Joya hay pocos árboles muestreados existe una gran variabilidad a nivel de árbol lo que para la genética es de importancia ya que mientras exista mayor variación existen más posibilidades de seleccionar a los mejores individuos y mejorar la genética de la especie.

3.6 Variación entre anillos

Para conocer el patrón de variación de las dimensiones transversales (del ancho de traqueidas, ancho de lumen y grosor de la pared), se obtuvieron los valores promedios de cada una de las variables antes mencionadas.

El ancho de traqueidas (Figura 3) muestra la tendencia de aumentar del centro hacia la periferia del árbol, es decir, los valores más pequeños se encuentran cerca de la médula y a medida que se alejan estos tienden a aumentar, aunque casi al final de la gráfica se dispara notablemente y luego disminuye, esto se explica debido a que como se obtuvieron promedios de cada uno de los anillos de todos los árboles pudo haber coincidido que en este punto se hayan encontrado los valores más altos de traqueidas, lo que se vio reflejado en la gráfica en el aumento del valor en el anillo 105. De manera general este patrón fue estable de aumentar del centro a la corteza, lo cual es semejante a lo reportado para otras coníferas en estudios tales como en *Pinus hartwegii* (Hernández, 1985; Larios, 1979), *P. patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana*, *P. teocote* (Torres y

Eguiluz, 1989), *P. maximinoi*, *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989), *P. rudis* (Ibarra, 1999), *P. teocote* (Tinajero, 2004) y *Abies religiosa* (Larios, 1979).

Hocker (1984) y Zobel y Talbert (1988) mencionan que el aumento en algunas características de la madera y otras propiedades desde la médula hacia la parte exterior del tronco es una característica general de las coníferas, tal es el caso de la densidad de la madera que en el mismo árbol varía de la parte central al exterior del tronco (sección transversal) y de la base al ápice.

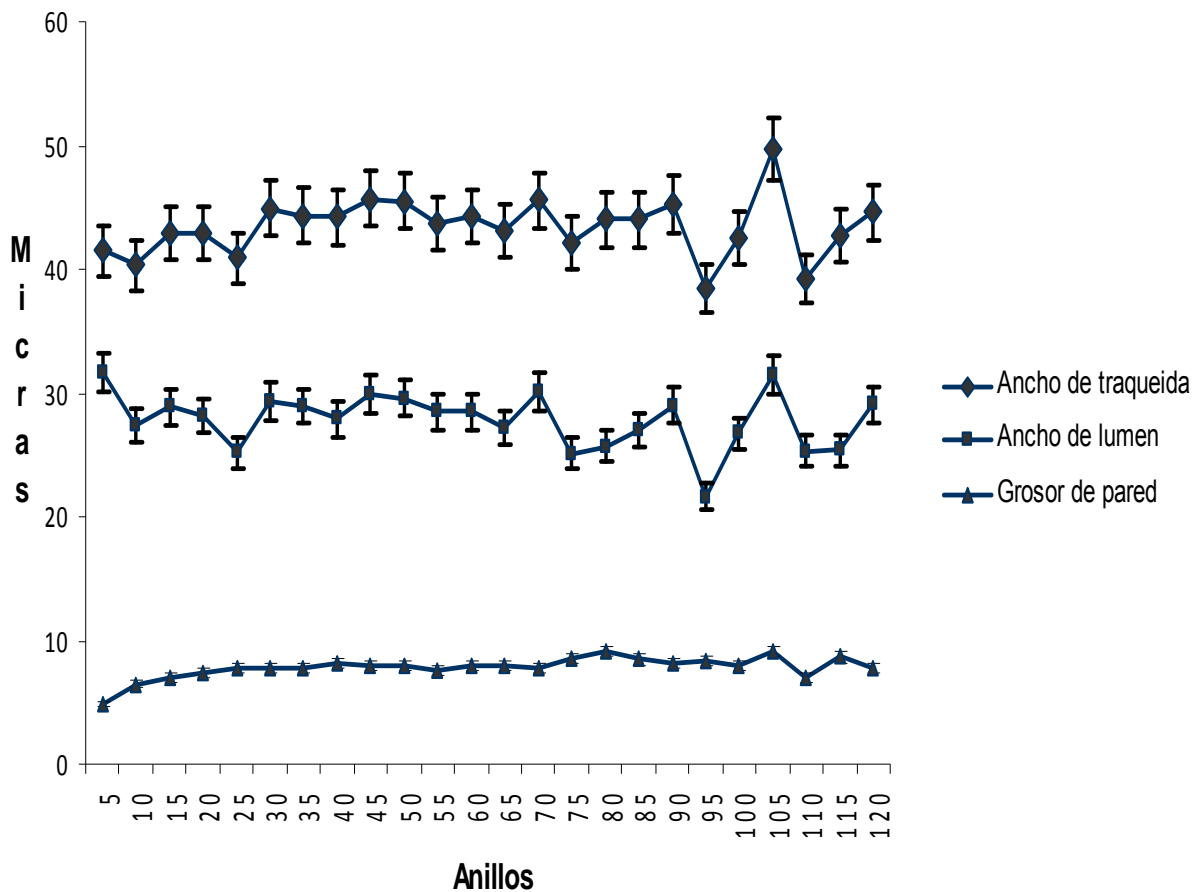


Figura 3. Tendencia de las dimensiones transversales de traqueidas en su eje transversal en árboles de *Pinus herreraei* Mtz. en la región de Cd. Hidalgo, Mich.

También se puede mencionar que en el caso del diámetro de las traqueidas y algunas otras características de la madera, regularmente son más pequeñas de la médula y conforme avanza hacia el exterior están tienden aumentar, luego se estabiliza hasta un cierto grado. Esto se debe a que cerca de la médula o centro del árbol se forma madera juvenil con células más cortas tanto transversal como longitudinalmente y conforme este avanza a la periferia del árbol se forma madera madura con células más grandes en sus dimensiones transversales y longitudinales (Hocker, 1984; Zobel y Talbert, 1988).

En cuanto al ancho de lumen (Figura 3) no se muestra un patrón definido de aumento del centro hacia la periferia por los altibajos que se presentan a lo largo de la tendencia. Este tipo de respuesta difiere de lo reportado en *Pinus hartwegii* (Hernández, 1985), en *P. patula*, *P. oaxacana*, *P. rudis* y *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), en *P. rudis* (Ibarra, 1999) y en *P. teocote* (Tinajero, 2004); en los que encontraron un decremento continuo del centro del árbol hacia la periferia.

Para el grosor de la pared de las traqueidas (Figura 3), se muestra una tendencia clara de aumento del centro del árbol hacia la parte exterior, siendo este patrón similar a lo señalado en otras especies de coníferas, como en índices de calidad de pulpa para *Abies religiosa* y *Pinus hartwegii* (Larios, 1979) y en dimensiones transversales de traqueidas para *P. hartwegii* (Hernández, 1985), *P. patula*, *P. rudis*, *P. oaxacana* y *P. teocote* (Torres y Eguiluz, 1989), *P. maximinoi*, *P. oocarpa* y *P. michoacana* (Feria y Eguiluz, 1989), *P. rudis* (Ibarra, 1999) y *Pinus teocote* (Tinajero, 2004).

3.7 Correlación de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía

La correlación se hizo en base a los promedios de los anillos, en el cual se encontró una correlación positiva y fuerte entre el promedio del ancho de traqueida con el grosor de la pared ($r = 0.40$) y el ancho de lumen ($r = 0.72$), lo cual indica que a

medida que a aumenta el ancho de traqueida tienden aumentar el grosor de pared y el ancho de lumen. Para el grosor de pared y ancho de lumen se encontró una correlación negativa ($r = -0.34$) y significativa, lo cual indica que a medida que disminuye el grosor de pared tiende también a aumentar el ancho de lumen.

4 CONCLUSIONES

Con base en los resultados obtenidos en el presente estudio sobre las dimensiones transversales de traqueidas de *Pinus herrerae* de la región de Cd. Hidalgo, Mich., se concluye lo siguiente:

Las traqueidas de *Pinus herrerae* se clasifican como extremadamente grandes de diámetro, lumen y grosor de la pared.

Los coeficientes de rigidez (C.R.), de flexibilidad (C.F.) y relación Runkel (R.R.), clasifican a la madera de *Pinus herrerae* como buenas para producir pulpa para la elaboración de papel con un grado de calidad III.

Existen diferencias altamente significativas de las dimensiones transversales de traqueidas entre localidades, entre árboles dentro de localidades y entre anillos de los árboles dentro de localidades.

El mayor porcentaje de variación de las dimensiones transversales de traqueidas (ancho de traqueida, ancho de lumen y grosor de la pared), se debe a diferencias entre anillos, le sigue diferencia entre árboles y en menor proporción diferencia entre localidades.

Para establecer un programa de mejoramiento genético, las mayores posibilidades de selección, considerando las dimensiones transversales de las traqueidas de *Pinus herrerae* de la región de Cd. Hidalgo, Mich., se presenta a nivel de árboles más que a nivel de localidades.

En cuanto al el eje transversal, el patrón de variación para el ancho de traqueidas y el grosor de la pared celular muestran un aumento en sus dimensiones que va de la médula hacia la periferia del árbol; mientras que, el ancho de lumen no presentó una tendencia definida.

5 RECOMENDACIONES

Realizar más estudios de variación natural de traqueidas en otras localidades de toda el área de distribución natural de *Pinus herrerae*, separando árboles resinados y no resinados.

Para fines de programa de mejoramiento genético forestal se recomienda evaluar estas características en ensayos de procedencias y progenies, para hacer una distinción entre los efectos genéticos y los ambientales.

Al realizar el trabajo de laboratorio, en la fase de montado de laminillas se recomienda hacerlo lo más rápido posible para evitar la deshidratación de las traqueidas. Así como también evitar de dejar burbujas que puedan afectar las mediciones.

6 LITERATURA CITADA

- Amezcuca C., S. y J. Ángeles L. 2003. Las coníferas de Michoacan. Boletín Técnico. Núm. 4 Vol. 2. Comisión Forestal del estado, Morelia, Mich., México. 67 p.
- Arroyo P., M. 2001. Variación en la densidad de la madera de *Pinus arizonica* Engelm. de la Sierra Tarahumara, Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 56 p.
- Campos D., J. L. 1990. Importancia económica de los pinos mexicanos. Nota Técnica Núm. 2. Centro de Genética Forestal A. C. Chapingo, México. 6 p.
- Cevallos F., S. y T. Carmona. 1981. Banco de información de estudios tecnológicos de maderas que vegetan en México. SARH-INIF. Catálogo N° 3. México. s/p.
- Conafor-Conabio. s/f. Ficha técnica de *Pinus herrerae* Martínez. [http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnica s/Pinus%20herrerae.pdf](http://www.conafor.gob.mx/portal/docs/secciones/bosquedes/Fichas%20Tecnica%20s/Pinus%20herrerae.pdf). (15 de noviembre de 2007).
- Curtis, P. J. 1986. Microtecnia vegetal. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Chapingo. México. 106 p.
- DETENAL 1978. Carta geológica. E14A14. Zinapécuaro. Esc: 1:50,000. México.
- DETENAL 1979a. Carta geológica. E14A25. Tzitzio. Esc: 1:50,000. México.
- DETENAL 1979b. Carta edafológica. E14A24. Tzitzio. Esc: 1:50,000. México.
- DETENAL 1979c. Carta edafológica. E14A14. Zinapécuaro. Esc: 1:50,000. México.

- Díaz G., V. 1988. Propiedades tecnológicas de la madera y su aplicación. In: Memoria del V seminario Nacional de la Industria Maderera. Publicaciones especiales del INIFAP. México. Pp. 99-119.
- Dvorak, W. S, J. E. Kietzka, T. K. Stanger, y M. Mápula. 2000. *Pinus herrerae*. In Conservation & Testing of Tropical & Subtropical Forest Tree Species by the CAMCORE Cooperative. College of Natural Resources, NCSU. Raleigh, NC. USA. Pp. 75-86.
- Eguiluz P., T. 1978. Ensayo de integración sobre el género *Pinus* en México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 623 p.
- Feria P., S. y T. Eguiluz P. 1989. Variación natural en longitud y dimensiones transversales de las traqueidas en *Pinus maximinoi*, *Pinus oocarpa* y *Pinus michoacana* var. *cornuta* de la Sierra Chatina, Oaxaca. In: Memoria del Congreso Forestal. Tomo II. Centro de Investigaciones Forestales y Agropecuarios del Distrito Federal, INIFAP. SARH. Toluca, México. Pp. 1030-1061.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Koppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). 4ª edición. Offset Larios. México. 217 p.
- 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. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 42 p.
- Hernández M., H. 1985. Variación natural de *Pinus hartwegii*: dimensiones transversales de las traqueidas en un transecto altitudinal de Zoquiapan. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 59 p.

Hocker, H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT Editor. México. 446 p.

Ibarra G., R. 1999. Variación de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 71 p.

INEGI. 1997. Carta topográfica. E14A14. Zinapécuaro. Esc: 1:50,000. México.

INEGI. 1998. Carta topográfica. E14-1. Morelia. Esc: 1:250,000. México.

INEGI. 2000. Carta topográfica. E14A24. Tzitzio. Esc: 1:50,000. México.

Infante G., S. y G. P. Zárate de L. 1990. Métodos estadísticos. 2ª Edición. Trillas. México. 643 p.

Larios S., P. 1979. Índices de calidad de pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.

López L., M. y S. Valencia M. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. Madera y Bosques 7(1): 37-46.

López M., A. 2004. Variación de la densidad de la madera en regeneración de *Pinus estevezii* (Mtz.) Perry de Nuevo León. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 52 p.

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. Buenavista, Saltillo Coah., México. 51 p.

- Mares A., O. 2003. Índice de sitio de *Pinus herrerae* en la región Cd. Hidalgo, Michoacán. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 85 p.
- Martínez M., E., C. G. Ibarra, V. A. Hernández y F. Lorea-Hernández. 1987. Contribución al conocimiento de la flora y vegetación de la región Azufres, Michoacán. Revista Trace 12:22 - 37.
- Mogollón, G., A. Aguilera, I. Gutiérrez y L. Gómez. 2002. Caracterización del *Pinus caribea* resinado proveniente de plantaciones. Congreso Iberoamericano de Investigación en Celulosa y Papel. Venezuela. 8 p.
- Ortega E., F. 1999. Densidad relativa y longitud de traqueidas en cinco familias de *Pinus patula* Schl. et Cham. de diferentes sitios. Tesis de Maestría. Universidad Veracruzana. Xalapa, Ver. 58 p.
- Ortega E., F. L. Guerrero O., T. F. Carmona V. y C. Córdoba N. 1988. Anatomía de la madera de veintiocho especies de Cosautlán de Carvajal, Veracruz. Boletín Técnico La Madera y su Uso N° 19. LACITEMA. México. 206 p.
- Padilla G., H. 1982. Glosario práctico de términos forestales. Editorial Limusa. México. 118 p.
- Robles F., F. y R. Echenique M. 1989. Estructura de la madera. Editorial Limusa. México. 367 p.
- Rodríguez V., E. 1998. Variación del largo de traqueidas dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl. en Sierra las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. México. 52 p.

- Santiago D., I., N. Rodríguez de G. y G. Mogollón. 2002. Potencial papelero de la fibra de sisal (*Agave sisalana*). Rev. Forest. Venez. 46(2): 19-27.
- SEMARNAP- UACH. 1999. Atlas Forestal de México. SEMARNAP. México. 101 p.
- Tamarit U., J. C. 1996. Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 especies de latifoliadas. Madera 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.
- Torres P., A. y T. Eguiluz P. 1989. Variación de las dimensiones transversales de las traqueidas de cuatro especies de Pinos: *P. patula*, *P. michoacana*, *P. rudis*, *P. teocote* de la Sierra de Juárez Oaxaca. In: Memoria del Congreso Forestal Mexicano. Toluca, México. Pp. 1062-1078.
- Tzab C., J. A. 2002. Variación en densidad de la madera, proporción de madera tardía y crecimiento en diámetro de *Pinus engelmannii* Carr., de Chihuahua. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 60 p.
- Ucodefo-2 (Unidad de Conservación y Desarrollo Forestal No. 2). 1994. Organización de la Unidad Ciclo 1994-1995 Cd. Hidalgo, Michoacán. 21 p. (documento inédito).
- Villaseñor A., J. C. y J. G. Rutiaga Q. 2000. La madera de *Casuarina equisetifolia* L., química e índices de calidad de pulpa. Madera y Bosques 6(1): 29-40.

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 15(75):18-24.

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

Zúñiga B., M. C. 1998. Variación de la densidad de la madera de *Pseudotsuga* entre árboles y entre localidades del norte de México. Tesis profesional. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah., México. 53 p.

7 APÉNDICE

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

Diámetro de traqueidas	micras	Diámetro de lumen	micras	Grosor de la pared	Micras
Extremadamente fina	De 10 o menos	Extremadamente fino	De 3 o menos	Extremadamente delgado	De 1.5 o menos
Muy fina	De más de 10 hasta 12	Muy fino	De más de 3 hasta 4	Muy delgado	De 1.5 hasta 2.0
Moderadamente fina	De más de 12 hasta 14	Moderadamente fino	De más de 4 hasta 5	Moderadamente delgado	De más de 2 hasta 3
Mediana	De más de 14 hasta 19	Mediano	De más de 5 hasta 10	Mediana	De más de 3 hasta 4
Moderadamente ancha	De más de 19 hasta 21	Moderadamente ancho	De más de 10 hasta 14	Moderadamente gruesa	De más de 4 hasta 5
Muy ancha	De más de 21 hasta 26	Muy ancho	De más de 14 hasta 19	Muy gruesa	De más de 5 hasta 7
Extremadamente ancha	De más de 26	Extremadamente ancho	De más de 19	Extremadamente gruesa	De más de 7

Apéndice 2. Clasificación de la relación Runkel ($2w/\ell$) (Larios, 1979).

Grado	Rango	Clasificación
I	< 0.25	Excelente
II	0.25 – 0.50	Muy buena
III	0.50 – 1.00	Buena
IV	1.00 – 2.00	Regular
V	> 2.00	Mala

w = Grosor de la pared de la fibra; ℓ = Diámetro del lumen

Apéndice 3. Clasificación del coeficiente de rigidez (Villaseñor y Rutiaga, 2000).

Rango	Clasificación
< 0.20	Muy delgada
0.20 – 0.35	Delgada
0.35 – 0.50	Media
0.50 – 0.70	Gruesa
> 0.70	Muy gruesa

Apéndice 4. Clasificación del coeficiente de flexibilidad (Villaseñor y Rutiaga, 2000).

Rango	Grosor de la pared	Características
< 0.30	Muy gruesa	Las fibras no se colapsan. Muy poca superficie de contacto. Pobre unión fibra-fibra.
0.30 – 0.50	Gruesa	Las fibras se colapsan muy poco. Poca superficie de contacto. Poca unión fibra-fibra.
0.50 – 0.65	Media	Abarca lo anterior.
0.65 – 0.80	Delgada	Fibras parcialmente colapsadas, con una sección transversal elíptica. Buena superficie de contacto. Buena unión fibra-fibra.
> 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 de traqueidas de madera tardía entre árboles dentro de localidades de *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

F.V.	gl	Ancho de traqueidas			Ancho de lumen			Grosor de la pared		
		CM	Fc	Pr>F	CM	Fc	Pr>F	CM	Fc	Pr>F
Loc	3	2026.85	25.34**	<.0001	4338.00	41.95**	<.0001	297.11	50.87**	<.0001
Arb (Loc)	22	3399.77	42.51**	<.0001	4334.50	41.92**	<.0001	328.37	56.22**	<.0001
An (Arb Loc)	359	612.11	7.65**	<.0001	640.19	6.19**	<.0001	52.02	8.91**	<.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; An (Arb Loc) = Anillos de los árboles dentro de las localidades; ** = Altamente significativo al $\alpha = 0.05$.

Apéndice 6. Análisis de componentes de varianza de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía de las cuatro localidades de distribución natural de *Pinus herreraei* Mtz. en la región de Ciudad Hidalgo, Mich.

F. V.	gl	Ancho de traqueidas			Ancho de lumen			Grosor de la pared			Componentes de los CME
		CM	CVE	CVE %	CM	CVE	CVE %	CM	CVE	CVE %	
Loc	3	324.30**	0.00	0.00	694.08**	0.00	0.00	47.54**	0.00	0.00	$\sigma^2 e + 19.942 \sigma^2 c + 311.6 \sigma^2 b + 1845.1 \sigma^2 a$
Arb (Loc)	22	543.97**	1.53	8.27	693.52**	2.02	8.85	52.54**	0.15	10.40	$\sigma^2 e + 19.941 \sigma^2 c + 292.16 \sigma^2 b$
An (Arb Loc)	359	97.94**	4.27	23.14	102.43**	4.31	18.85	8.32**	0.37	25.55	$\sigma^2 e + 19.935 \sigma^2 c$
Error	7290	12.80**	12.80	69.32	16.54**	16.54	72.39	0.93**	0.93	64.32	$\sigma^2 e$

F. V. = Fuente de variación; gl = Grados de libertad; CM = Cuadrados medios; CVE = Componente de varianza estimado; CVE % = componente de varianza estimado en porcentaje; CME = Cuadrados medios esperados; Loc = Localidad; Arb (Loc) = Árboles dentro de localidades; An (Arb Loc) = Anillos de los árboles dentro de localidades; $\sigma^2 e$ = Varianza del error; $\sigma^2 c$ = Varianza de anillos de los árboles dentro de localidades; $\sigma^2 b$ = Varianza de árboles dentro de localidades; $\sigma^2 a$ = Varianza de las localidades; ** = Altamente significativa.

Apéndice 7. Variación de las dimensiones transversales de traqueidas de madera tardía entre árboles dentro de cada localidad de *Pinus herrerae* Mtz. de la región de Cd. Hidalgo, Michoacán.

Loc	n	Media			Mínimo			Máximo			Desviación estándar			Error estándar			C. V. (%)		
		AT	AL	GP	AT	AL	GP	AT	AL	GP	AT	AL	GP	AT	AL	GP	AT	AL	GP
1	4	42.54	28.30	7.11	20.0	5.0	2.5	92.5	87.5	17.5	10.55	12.10	2.75	0.27	0.32	0.07	24.80	42.77	38.61
2	5	42.02	25.59	8.22	20.0	2.5	2.5	92.5	87.5	17.5	10.16	11.37	2.96	0.29	0.32	0.08	24.18	44.44	36.00
3	7	44.30	29.55	7.37	17.5	2.5	2.5	92.5	82.5	17.5	11.47	12.70	2.92	0.25	0.28	0.06	25.89	42.99	39.54
4	10	44.00	28.81	7.59	20.0	5.0	2.5	90.0	80.0	17.5	10.43	11.32	3.16	0.19	0.21	0.06	23.70	39.28	41.63

Loc. = Localidad; 1 = La Joya, 2 = Huajúmbaro, 3 = El Molcajete, 4 = San Antonio Villalongín; n = número de árboles de cada localidad; AT = ancho de traqueida, AL = ancho de lumen, GP = grosor de la pared; Coeficiente de variación expresado en (%). Nota: Todos los valores de las variables están expresados en micras.