

## Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl. del Volcán La Malinche

Fabiola Rojas García<sup>1</sup>  
Lourdes Villers Ruíz<sup>2</sup>

### RESUMEN

Para estimar la densidad básica de la madera de *Pinus hartwegii* del volcán La Malinche se utilizaron dos métodos: el tradicional de máximo contenido de humedad (Smith, 1954) y el empírico propuesto recientemente (Valencia y Vargas, 1997); para ello se extrajeron 22 especímenes pequeños de madera con un taladro de Pressler a los que se les aplicaron ambos métodos. Se encontró que los valores promedio, de desviación estándar, mínimo y máximo de densidad de la madera fueron muy semejantes. Se determinó la densidad básica de la madera en 0,496 g/cm<sup>3</sup>. Se demostró con una correlación simple que los resultados de ambos métodos fue cercana a la unidad. La madera de *Pinus hartwegii* se clasifica como moderadamente pesada. El valor de densidad obtenido en este estudio puede utilizarse en estimaciones de biomasa referentes a la especie.

#### PALABRAS CLAVE:

Densidad básica, método empírico, método de máximo contenido de humedad, *Pinus hartwegii*, taladro de Pressler,

### ABSTRACT

In order to consider the wood specific gravity of *Pinus hartwegii* in the La Malinche volcano two methods were used: the traditional one of the maximum moisture content (Smith, 1954) and the empirical method proposed recently (Valencia and Vargas, 1997); 22 small pieces wood were extracted with a Pressler drill, to which both methods were applied. The average values, standard deviation, minimum and maximum of the wood density were very similar. It was determined that the specific gravity of the wood was 0,496 g/cm<sup>3</sup>. It was demonstrated with a simple correlation that the results of both methods were very close to 1,0. The *Pinus hartwegii* wood is classified as moderately heavy. The specific gravity value obtained in this study can be used for biomass estimations of the wood from this species.

#### KEY WORDS:

Specific gravity, empirical method, maximum moisture method, *Pinus hartwegii*, Pressler drill.

<sup>1</sup> Facultad de Ciencias, UNAM. Circuito Exterior Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán. Distrito Federal. C.P.04510. c. e. fabiosxt01981@yahoo.com.mx

<sup>2</sup> Centro de Ciencias de la Atmósfera, UNAM. Circuito de la Investigación Científica. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán. Distrito Federal. C.P.04510. c. e. villers@servidor.unam.mx

## INTRODUCCIÓN

La densidad básica se define como la relación entre la masa y la unidad de volumen (Panshin y De Zeeuw, 1970). La densidad de la madera es la expresión de la presencia relativa de los distintos elementos celulares que la componen (vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima). Esta depende del tamaño de las células, del grosor de la pared celular y de la proporción de los diferentes tipos de tejidos con respecto al volumen total del leño (Zobel y Talbert, 1984). Fujiwara (1992) encontró que desde el punto de vista anatómico la densidad básica está relacionada tanto con el espesor de la pared de las fibras como con sus contenidos.

Denne y Hale (1999) refieren que en árboles juveniles la densidad se incrementa cuando simultáneamente se incrementa el porcentaje de pared de fibras y el lumen de vasos; mientras que en árboles maduros la densidad decrece como consecuencia de cambios en el porcentaje de la pared de fibras y del lumen de los vasos. Sugieren entonces que la densidad de la madera está asociada a la edad de los árboles.

La densidad de la madera en muchas especies disminuye del centro a la periferia y de la base hacia el ápice (Daniel *et al.*, 1982; Hocker, 1984); también se reconoce la variación que existe entre árboles, sitios, rodales y especies (Zobel y van Buijtenen, 1989) lo que se emplea ampliamente en programas de mejoramiento genético forestal (Zobel y Talbert, 1988).

La densidad básica de la madera permite observar el valor socioeconómico de un bosque, pues está íntimamente relacionada con las propiedades de resistencia de la madera en la construcción y

el rendimiento en la elaboración de pulpa para papel, así como con las unidades caloríficas generadas al utilizar la madera como combustible (Kollman, 1959).

Además, el valor de la densidad básica de una especie permite contemplar el valor de un bosque en términos de biomasa, pues la productividad total en biomasa de un rodal no puede determinarse a menos que se conozca la densidad promedio de la madera (Zobel y Talbert, citado por Valencia y López, 1999).

Por lo anterior resulta indispensable conocer las propiedades físicas de la madera de *Pinus hartwegii* entre ellas la densidad.

## OBJETIVO

Este trabajo contempla dos objetivos el primero es comparar dos métodos para la estimación de la madera: máximo contenido de humedad (Smith, 1954) y el método empírico (Valencia y Vargas, 1997), con el uso de muestras pequeñas de madera.

El segundo objetivo es obtener una valor de la densidad básica de *Pinus hartwegii* maduros que pueda ser utilizado para la estimación de la biomasa contenida en los árboles de esta especie.

## MATERIALES Y MÉTODOS

*Pinus hartwegii* es considerado como el pino mexicano mejor adaptado a frecuentes heladas nocturnas del clima de alta montaña (Sánchez de Tagle, 1978). El estudio se realizó en el bosque del Parque Nacional La Malinche, localizado entre los estados de Tlaxcala y Puebla (Figura 1), en donde esta especie se encuentra como bosque

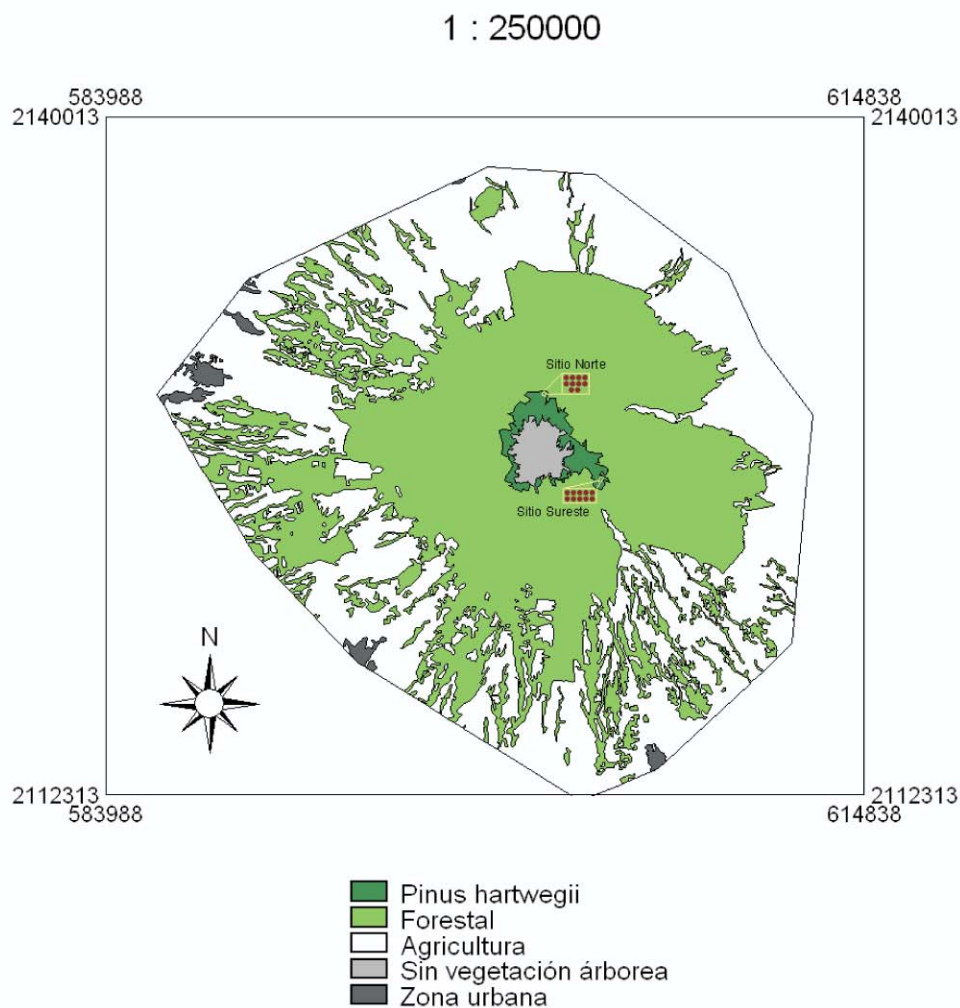


Figura 1. Ubicación de los sitios y círculos muestreados en el Parque Nacional La Malinche.

monoespecífico desde los 3500 msnm hasta el límite superior arbóreo a los 4000 msnm cubriendo una superficie de 546 ha (Rojas, 2004).

Se localizaron dos sitios de muestreo ubicados por encima de los 3650 msnm en las laderas Norte (N) y Sureste (SE) del volcán. Se hizo un inventario estructural de los

árboles en 10 círculos de 0,1ha (17,8 m de radio) por sitio (Rojas 2004). Los círculos se establecieron paralelos a la pendiente, separados por 50 m del centro del primero al segundo (Figura 1).

Para la obtención de las muestras se seleccionó un árbol en cada uno de los 10 círculos del sitio para ambas laderas y una

repetición. Se tomó en cuenta que el árbol seleccionado tuviera un diámetro normalizado (DN) mayor a 0.30 m y una altura mayor a 15 m, debido a que Rojas (2004) refiere que estos árboles presentan una edad de 75 años por lo que se pueden considerar maduros. Además se buscó que fueran árboles sanos y estuvieran libres de plagas y enfermedades.

Se tomaron especímenes a la altura de 1,3 m del árbol en pie, con el uso del taladro de Pressler. Cada espécimen de madera se guardó en un popote de plástico para su traslado y se almacenó en una caja de espuma de poliuretano ("unicel") para evitar su deshidratación. Luego de obtener la pieza, se cubrió la herida del árbol con cera de Campeche, para protegerlos de parásitos o plagas.

Las 22 piezas de madera, después de 24 horas de la extracción, se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001g y se registró el peso inicial. Para el método empírico (Valencia y Vargas, 1997) se calculó el volumen verde de las muestras considerándolas como un cilindro perfecto, se midió con un vernier su diámetro y se aplicó la siguiente fórmula:

$$V_v = 3,1416 * D^2 * L / 4$$

Donde:

$V_v$  = volumen verde estimado del cilindro de la madera (cm<sup>3</sup>)

$D$  = diámetro de la muestra de madera Pressler (cm)

$L$  = longitud de la muestra de madera Pressler (cm)

Con el fin de obtener el peso anhidro ( $P_o$ ) de cada pieza se colocaron en una estufa de secado con temperaturas de 100 a 105° C,

durante 24 horas. Se pesaron en una balanza analítica con una precisión de 0.0001 g. Con los dos valores obtenidos se aplicó la fórmula de la densidad de la madera, propuesta por Valencia y Vargas (1997):

$$D_b = P_o / V_v$$

Donde:

$D_b$  = densidad básica de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

$P_o$  = peso anhidro (g)

$V_v$  = volumen verde (cm<sup>3</sup>)

Para el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954) las muestras de madera se colocaron en un recipiente con agua durante 8 días para lograr la penetración total de agua en la muestra, y obtener un peso constante en la balanza.

Se sacaron del recipiente quitando el exceso de agua y luego de 24 horas se pesaron en la balanza analítica, de este modo se obtuvo el peso saturado ( $P_s$ ) (Valencia y Vargas, 1997).

Con las variables de peso anhidro ( $P_o$ ) y peso saturado ( $P_s$ ) se calculó la densidad de la madera para cada muestra, utilizando la fórmula del método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954):

$$DM = \frac{1}{\frac{P_s - P_o}{P_o} + 1.53}$$

Donde:

$DM$  = Densidad de la madera (g/cm<sup>3</sup>)

$P_s$  = Peso saturado (g)

$P_o$  = Peso anhidro (g)

1,53 = Densidad de la madera sólida

Los resultados de ambos métodos

fueron comparados por medio de una correlación simple, con el fin de saber si existían diferencias significativas entre resultados y por lo tanto, entre métodos.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos de densidad básica por dos métodos. Se indica el sitio y el círculo de donde se extrajeron. Se muestran las características de los 22 especímenes: longitud, diámetro, volumen verde, peso anhidro y peso saturado. El valor promedio de la densidad básica obtenida por el método

empírico (Valencia y Vargas, 1997) fue de 0,4967, con un valor mínimo de 0,4167 y máximo de 0,5847 g/cm<sup>3</sup>.

El valor promedio de la densidad obtenida por el método de máximo contenido de humedad (Smith, 1954) fue de 0,4964, con un valor mínimo de 0,4152 y máximo de 0,5812 g/cm<sup>3</sup>.

Ajustando a tres decimales el valor obtenido por ambos métodos es 0,496 g/cm<sup>3</sup>. Larios (1979) menciona que la densidad específica de la madera de *Pinus hartwegii* puede oscilar entre 0,330 g/cm<sup>3</sup> a 0,590 g/cm<sup>3</sup> con una media de 0,438 g/cm<sup>3</sup> (Musálem y

Tabla 1. Densidad de la madera de *Pinus hartwegii*

Muestra	Longitud (cm)	Diámetro (cm)	Volumen Verde (cm <sup>3</sup> )	Peso Anhidro (g)	Peso Saturado (g)	Método empírico	Método máximo contenido de humedad
sNc1	26,0	0,50	5,1051	2,8327	6,1170	<b>0,5549</b>	<b>0,5516</b>
sNc2	27,1	0,50	5,3211	2,9054	6,4158	<b>0,5460</b>	<b>0,5371</b>
sNc3	28,8	0,50	5,6549	2,9244	6,6882	<b>0,5171</b>	<b>0,5153</b>
sNc4	26,9	0,50	5,2818	2,4454	6,1462	<b>0,4630</b>	<b>0,4615</b>
sNc5	26,2	0,50	5,1444	2,8074	6,1582	<b>0,5457</b>	<b>0,5414</b>
sNc6	26,0	0,45	4,1351	1,9945	4,7885	<b>0,4823</b>	<b>0,4867</b>
sNc7	30,5	0,50	5,9887	3,4242	7,1321	<b>0,5718</b>	<b>0,5759</b>
sNc8	31,0	0,50	6,0869	3,1824	7,1899	<b>0,5228</b>	<b>0,5228</b>
sNc9	27,7	0,50	5,4389	2,7501	6,3815	<b>0,5056</b>	<b>0,5066</b>
sNc10	25,0	0,50	4,9088	2,8701	5,9321	<b>0,5847</b>	<b>0,5812</b>
sNr10	29,4	0,50	5,7727	2,4054	6,6264	<b>0,4167</b>	<b>0,4152</b>
sSEc1	28,6	0,50	5,6156	2,6338	6,5321	<b>0,4690</b>	<b>0,4687</b>
sSEc2	29,5	0,50	5,7923	2,5018	6,6525	<b>0,4319</b>	<b>0,4324</b>
sSEc3	32,2	0,50	6,3225	3,0649	7,4035	<b>0,4848</b>	<b>0,4833</b>
sSEc4	30,7	0,50	6,0279	3,0641	7,0902	<b>0,5083</b>	<b>0,5082</b>
sSEc5	31,2	0,50	6,1261	2,7829	7,0420	<b>0,4543</b>	<b>0,4579</b>
sSEc6	32,0	0,50	6,2832	2,7805	7,1872	<b>0,4425</b>	<b>0,4467</b>
sSEc7	34,7	0,50	6,8133	3,4161	7,9879	<b>0,5014</b>	<b>0,5020</b>
sSEc8	28,6	0,50	5,6156	2,6582	6,4995	<b>0,4734</b>	<b>0,4765</b>
sSEc9	33,0	0,50	6,4796	2,8276	7,4725	<b>0,4364</b>	<b>0,4355</b>
sSEc10	26,1	0,50	5,1247	2,7072	6,0763	<b>0,5283</b>	<b>0,5268</b>
sSEr1	30,3	0,50	5,9494	2,8906	6,9285	<b>0,4859</b>	<b>0,4877</b>
<b>Promedio</b>						<b>0,4967</b>	<b>0,4964</b>

Solís, 2000). El valor obtenido en este estudio para la densidad de *Pinus hartwegii* se encuentra dentro del rango propuesto por Larios y presenta una media mayor.

Conforme a la clasificación de la madera desarrollada por Markwar y Meck de acuerdo con su densidad ( $\text{g/cm}^3$ ) en relación a su peso anhidro sobre su volumen verde (Echenique y Díaz, 1972) la madera de *Pinus hartwegii* es moderadamente pesada. Los valores promedio, máximo y mínimo no presentan diferencia significativa entre métodos. Además no se encontraron diferencias significativas entre sitios debido a que todos los árboles muestreados eran maduros.

Las propiedades de las maderas varían de la misma forma que las especies vegetales, según las zonas geográficas y los climas. De esta manera, una especie vegetal desarrollada en la misma zona, pero en terrenos diferentes en cuanto a altitud, humedad o composición, acusa notables diferencias. La variación en estructura de la madera ha sido estudiada principalmente en gradientes de latitud y altitud, con respuestas diferentes, desde ausencia de correlación (van der Graaff y Baas, 1974) hasta casos de correlación estadísticamente significativa entre algunos caracteres de la madera y la latitud o altitud (Arias y Terrazas, 2001). Debido a que los especímenes fueron extraídos en sitios semejantes, que presentaron la misma altitud, composición, humedad y latitudes (Rojas, 2004) la correlación fue significativa.

La correlación simple entre los valores de densidad de la madera obtenidos con el método empírico y el método de máximo contenido de humedad fue de  $r = 0,9958$  (Figura 2). Este valor es muy cercano a la unidad por lo que se consideró que no existe

una diferencia significativa entre los métodos utilizados; este alto valor de correlación indica que cualquiera de los métodos puede emplearse confiablemente, para estimar la densidad básica, la diferencia radica en que el método empírico es más rápido y sencillo en comparación con el método tradicional de máximo contenido de humedad.

Resultados similares de correlación se han comprobado en muestras de madera obtenidas de una plantación de progenies de *Pinus patula* donde se compararon los valores de densidad de la madera, obtenidos con el método empírico y el método de máximo contenido de humedad, en 48 árboles, en los cuales se obtuvieron prácticamente los mismos valores de densidad de la madera con ambos métodos, con una correlación de  $r = 0,99$  entre dichos valores (Valencia, 1994).

En un estudio realizado en una plantación de *Pinus greggii*, se seleccionaron 15 árboles, donde se utilizaron 3 métodos para estimar la densidad básica. La correlación simple entre los valores de densidad de la madera obtenidos por medio del método empírico y los valores del método de desplazamiento en agua fue de  $r = 0,96$ , mientras que la correlación de los valores del método empírico con los valores del método de máximo contenido de humedad fue de  $r = 0,99$  (Valencia y Vargas, 1997).

La experiencia en este trabajo permite recomendar el uso del método empírico debido que al hacer eficiente en tiempo y costos, el cálculo de la densidad puede realizarse en estudios para calcular biomasa y por consiguiente productividad, ya que este parámetro es indispensable para su determinación. El hecho de que existan métodos de obtención sencillos como el

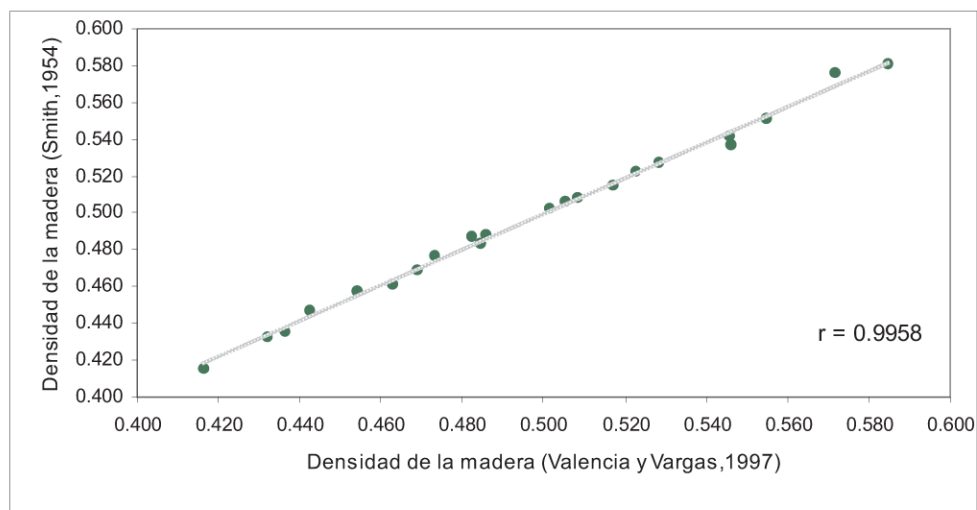


Figura 2. Correlación de la densidad de la madera *Pinus hartwegii*, por dos métodos.

método empírico, permitirá establecer diferencias entre especies pertenecientes a un mismo género, como es *Pinus*.

Hasta hace algunos años se utilizaba el valor genérico de densidad para el género *Pinus* estimado en  $0,500 \text{ g/cm}^3$ . Sin embargo se ha estimado la densidad de varias especies, dando una mayor certidumbre a trabajos relacionados con biomasa. El valor de densidad encontrado en este trabajo puede ser utilizado para trabajos futuros referentes a la especie, debido a que los bosques de *Pinus hartwegii* se distribuyen en toda la Cordillera Volcánica Transmexicana entre los 3000 y 4000 msnm y en prácticamente en todas las áreas montañosas de México que alcanzan tales elevaciones (Rzedowski, 1978). Resulta de suma importancia hacer una estimación adecuada de la biomasa presente en estos bosques, pues ésta permite determinar los montos de carbono y otros elementos

químicos existentes en cada uno de sus componentes y, representa la cantidad potencial de carbono que puede ser liberado a la atmósfera, o almacenado en una superficie (Brown *et al.*, 1996). De esta forma, si se especifica la densidad de la madera de más especies, tendrán mayor certidumbre los trabajos de cuantificación de biomasa.

## CONCLUSIONES

Resulta necesaria la estimación de la densidad básica de la madera de las especies arbóreas con distribución en México, pues es un parámetro íntimamente relacionado con el aprovechamiento, mantenimiento y conservación de los bosques. *Pinus hartwegii* presentó una densidad de  $0,496 \text{ g/cm}^3$ , mediante el uso de dos métodos de estimación confiables.

### RECONOCIMIENTOS

Este trabajo se realizó gracias al apoyo financiero del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), a través del proyecto 38607-V.

### REFERENCIAS

- Arias, S. y T. Terrazas. 2001. Variación en la anatomía de la madera de *Pachycereus pecten-aboriginum* (Cactaceae). Anales del Instituto de Biología, Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica 72(2): 157-169.
- Brown, S.; J. Sathaye; M. Cannell y P. Kauppi. 1996. Mitigation of carbon emission to the atmosphere by forest management. *Commonwealth Forestry Review* 75(1): 80-91.
- Daniel, T. W., J. A. Helms, y F. S. Baker. 1982. Principios de silvicultura. Mc Graw-Hill. México. 492 p.
- Denne, M. y M. Hale. 1999. Cell wall and lumen percentages in relation to wood density of *Nothofagus nervosa*. *IAWA Journal* 20 (1): 23-36.
- Echenique M., R. y V. Díaz G. 1972. Algunas características tecnológicas de la madera de 11 especies mexicanas. Bol. Tec. Num. 27. INIF. México. 71 p.
- Fujiwara, S. 1992. Anatomy and properties of Japanese hardwoods II. Variation of dimensions of ray cells and their relation to basic density. *IAWA Bulletin* n. s. 13(4): 397-402.
- Hocker Jr., H. W. 1984. Introducción a la biología forestal. AGT Editor, S.A. México. 446 p.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones Instituto Forestal de Investigación y Experiencias y Servicio de la Madera. Madrid, España. 675 p.
- Larios S., P. 1979. Indices de calidad de las pulpas de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 68 p.
- López M. y S. Valencia. 2001. Variación de la densidad relativa de la madera de *Pinus greggii* Engelm. del norte de México. *Madera y Bosques* 7(1):37-46.
- Musálem M. y M. Solís. 2000. Monografía de *Pinus hartwegii*. SAGAR. INIFAP. CIRCE Campo Experimental Valle de México. Libro Técnico No.3, Chapingo, Estado de México. 96p.
- Panshin, A. y C. De Zeeuw. 1970. Textbook of wood technology. I. Structure, identification, uses, and properties of the commercial woods of the United States and Canada, fourth edition. McGraw-Hill, New York. 722 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Ed. Limusa. México. 432p.
- Rojas, F. 2004. Contenido y captura potencial de carbono en el bosque de *Pinus hartwegii* del Parque Nacional La Malinche: Tlaxcala-Puebla. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 68 p.



- Sánchez de Tagle, C. 1978. Contribución al conocimiento de la fauna herpetológica del Parque Nacional La Malinche. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias, UNAM. México. 90 p.
- Smith, D. 1954. Maximun moisture content method por determining specific gravity of small wood samples. Forest Products Laboratory. Rept. No. 2014. USDA. Forest Service. Madison, Wis. EUA. 8 p.
- Valencia M., S. 1994. Variación genética de la densidad de la madera en *Pinus patula* y su relación con la velocidad de crecimiento. Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 108 p.
- Valencia, M., S. y J. Vargas. 1997. Método empírico para estimar la densidad básica en muestras pequeñas de madera. Madera y Bosques 3(1): 81-87.
- Valencia M., S. y A. López. 1999. Variación de la densidad de la madera dentro y entre árboles de *Pinus rudis* Endl., en Sierra Las Alazanas, Arteaga, Coahuila. Foresta-AN. Nota Técnica No. 1. UAAAN. Saltillo, Coahuila. 17 p.
- Van der Graaff, N.A. y P. Baas. 1974. Wood anatomical variation in relation to latitude and altitude. Blumea 22: 101-121.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1984. Applied Forest Tree Improvement. John Wiley & Sons. New York.
- Zobel, B. y J. Talbert. 1988. Técnicas de mejoramiento genético de árboles Forestales. Limusa. México. 545 p.
- Zobel, B. y J. van Buijtenen, 1989. Wood variation: Its causes and control. Springer-Verlag. Germany. 363 p.

Manuscrito recibido el 17 de Febrero de 2005.

Aceptado el 7 de Junio de 2005.

Este documento se debe citar como:

Rojas, F. y L. Villers. 2005. Comparación de dos métodos para estimar la densidad de la madera de *Pinus hartwegii* Lindl del Volcán La Malinche. Madera y Bosques 11(1): 63-71.