

# Evaluación de los componentes químicos básicos de la madera de *Pinus pringlei* infectada por el muérdago *Psittacanthus macrantherus*

*Luz Elena A. Ávila Calderón*

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo

## Resumen

Se realizó un análisis químico para determinar los principales componentes presentes en madera de *Pinus pringlei* sana e infectada con el muérdago *Psittacanthus macrantherus*, con el propósito de determinar el posible efecto de esta planta en su hospedero. Se determinaron los contenidos de cenizas, sustancias extraíbles en diferentes sistemas de solventes, holocelulosa y lignina. Se encontró que el contenido de sustancias inorgánicas, sustancias extraíbles solubles en etanol-ciclohexano, sustancias extraíbles en agua fría y celulosa es mayor en madera sana; por el contrario la madera infectada presentó valores más altos de solubilidad en sosa, sustancias extraíbles solubles en agua caliente y lignina. El análisis estadístico demostró que no existe diferencia significativa entre los componentes químicos de la madera sana y la madera infectada, con excepción del contenido de holocelulosa ( $P = 0,05$ ), lo que puede ser un factor que incida en la disminución de la resistencia mecánica de la ma-

dera de *Pinus pringlei* infectada.

**Palabras clave:** pH, cenizas, extraíbles, holocelulosa, lignina.

## Abstract

A chemical analysis to determine the main components of *Pinus pringlei* infected and non infected wood with *Psittacanthums acrantherus* was done in order to determine the effect of the parasitic plant on its host. The volume of ashes, and extracts with different solvent systems as well as holocellulose and lignin content were evaluated. The inorganic substances, ethanol-cyclohexane and cold water soluble extracts, and cellulose volumes were found to be higher in non infected wood; on the other hand, infected wood presented higher amount for soda solubility as well as hot water soluble for extracts and lignin content. Statistical analysis have shown no significance differences were found between non infected and infected wood, but of holocellulose ( $P=0,05$ ), which could be a factor that reduce mechanical resistance of infected *Pinus pringlei* wood.

**Key words:** pH, ash, extractives, holocellulose, lignin.

## Introducción

En México, los pinos tienen gran importancia ecológica, económica y social. A menudo son el componente dominante de las comunidades vegetales en las que crecen, influyen en los procesos funcionales del ecosistema tales como los ciclos biogeoquímicos, hidrológicos, los regímenes de fuego, y son hábitat y fuente de alimento para la fauna silvestre (Sánchez, 2008). Tienen un alto valor económico, la madera de escuadría es el producto más importante (3 957 586 metros cúbicos rollo), seguido de productos celulósicos (746 479 metros cúbicos rollo) y chapa y triplay (532 695 metros cúbicos rollo) (SEMARNAT, 2010). Además, ofrecen importantes servicios ambientales (agua, oxígeno, recreación, captura de carbono) e influyen en el clima regional. En México existen 46 especies, 3 subespecies y 22 variedades de pinos, que representan el 42% de las especies de este género conocidas en el mundo (Sánchez, 2008). La especie *Pinus pringlei* Shaw se distribuye en la Faja Volcánica Transmexicana y en la Sierra Madre del Sur, específicamente en los estados de Oaxaca, Guerrero, México, Morelos, Puebla y Michoacán. Se encuentra principalmente en las regiones subtropicales, entre los 1750 y 1850 msnm, asociado a *Pinus oocarpa* y *Pinus lawsoni* (Martínez, 1992; Farjon y Styles, 1997).

Los muérdagos son el segundo agente biológico de destrucción de los bosques del país, sólo después de los insectos descortezadores. De la información obtenida en 720 estudios dasonómicos y de manejo integral, se deduce que el 67% del arbolado en pie no presenta ningún tipo de daño y en el resto (33%) están presentes diferentes causas de afectación, entre las que sobresalen las plantas parásitas con 16% de la superficie arbolada. Se considera un volumen medio perdido de  $1,04 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$  por año, por efecto del parasitismo de estas plantas; se puede estimar una pérdida anual en el nivel nacional de 1,7 millones de

m<sup>3</sup> de madera en rollo, sin considerar el volumen perdido por la muerte del arbolado (Vázquez y Madrigal, 2005).

Se conocen 2 500 especies de muérdagos pertenecientes a varias familias botánicas que varían en cuanto a su dependencia y daño sobre las plantas hospederas, al competir en el aprovechamiento de agua y nutrientes, además algunas secretan enzimas hidrolíticas y otras sustancias que intervienen en el metabolismo de los factores de desarrollo del hospedante (Agrios, 2007). Los muérdagos de coníferas de Norteamérica más importantes son: *Psittacanthus* (Loranthaceae), *Arceuthobium* y *Phoradendron* (Viscaceae) (Geils *et al.*, 2002).

*Psittacanthus macrantherus* es la segunda planta parásita del género en importancia, después de *Psittacanthus calyculatus*, por su afectación en coníferas de México; causa infecciones severas a los árboles y los predisponen al ataque de patógenos de la raíz, lo que ocasiona la descomposición de la madera, desplome por el viento, pérdida de volumen, reducción en la producción de conos y semillas y, a veces muerte del arbolado (Bello, 1985; Vázquez, 1993; Hansen y Lewis, 2003; Howell *et al.*, 2006). En lo que respecta a las propiedades de la madera, Acevedo y Ambriz (1999) han encontrado que este muérdago afecta la resistencia mecánica de la madera del fuste comercial de *P. pringlei*.

El objetivo de este estudio es determinar los componentes químicos básicos de la madera de *Pinus pringlei* Shaw infectada por el muérdago *Psittacanthus macrantherus*, con el propósito de determinar el posible efecto de esta planta en su hospedero.

## Materiales y métodos

El material de estudio fue colectado en el paraje “Carboneras” del municipio de Villa Madero, Michoacán, México; y forma parte del Proyecto de Investigación Interinstitucional del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), C.E. Uruapan y la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El ejemplar sano de *Pinus pringlei* presentó un diámetro a la altura del pecho (DAP) de 0,41 m, altura total de 29 m y altura del fuste comercial de 25 m. El ejemplar infectado tenía un DAP de 0,41 m, altura total de 21 m y altura del fuste comercial de 15 m; el grado de infección por *Psittacanthus macrantherus* fue G.I. 3 o severo (del 61 al 100% de copa infectada) (Geils *et al.*, 2002). En la preparación de las muestras se utilizó una rodaja por árbol de 0,30 m de espesor a 0,30 m de altura del tocón; la madera de albura fue astillada, secada al aire y molida en un equipo Wiley, de conformidad con la norma T 257 cm-85 de TAPPI (2000), obteniendo la fracción de malla 40 (420 m) usada en el análisis químico. Las determinaciones se realizaron por duplicado.

## Análisis químico

*Sustancias inorgánicas.* El contenido de sustancias inorgánicas se calculó gravimétricamente, después de quemar cuidadosamente la harina de madera sin extraer, para poste-

riormente calcinar en una mufla a 525 °C, utilizando crisoles de níquel, en apego a la norma T 211 om-93 (TAPPI, 2000).

El microanálisis de las cenizas obtenidas se realizó con un espectrómetro de Rayos X, acoplado a un microscopio electrónico de barrido marca Jeol modelo JSM- 6400. Las condiciones de operación para los análisis fueron 20 kV y 10,0 s.

*Solubilidad en sosa.* La digestión en baño de agua se realizó con 100 mL de NaOH al 1,0% durante 1 h, con agitación en periodos de 10, 15, 25, min. Se filtró y lavó con agua caliente, neutralizando con 50 mL de ácido acético al 10%. Este proceso se efectuó siguiendo la norma T 212 om-98 (TAPPI 2000).

*Sustancias extraíbles.* Las determinaciones de extraíbles solubles en etanol-ciclohexano se hicieron con equipos Soxhlet durante 4 h de reflujo. Las determinaciones de solubilidad en agua fría y caliente se hicieron mediante extracción por 48 h a temperatura ambiente con agitación constante y a reflujo por 3 h respectivamente, de acuerdo a T 207 cm-99 (TAPPI 2000). Los solventes se recuperaron en un rotavapor aplicando vacío y el extracto respectivo se colocó en un desecador hasta peso constante. La harina de madera, después de la extracción con etanol-ciclohexano, se extrajo sucesivamente con etanol (4 h de extracción) y agua caliente (3 h de reflujo). El material resultante fue designado como harina libre de extraíbles, y se usó para determinar holocelulosa y lignina.

*Holocelulosa.* El contenido de holocelulosa se determinó de acuerdo con lo establecido en la norma D1104-57 (ASTM, 1981) empleando harina libre de extraíbles, la muestra se trató con hipoclorito de sodio reemplazando el gas cloro, se lavó con etanol y posteriormente con etanol-monoetanolamina, seguido de dos lavados más con etanol y con agua caliente. El tratamiento indicado anteriormente se repitió en cuatro ocasiones hasta que la adición de etanol-monoetanolamina no oscureció la muestra. La muestra se secó a 35 °C hasta alcanzar peso constante.

*Lignina.* El contenido de lignina en la harina de albura se determinó de conformidad con la norma T 222 om-98 (TAPPI, 2000). A la muestra libre de extractos se agregaron 5 mL de ácido sulfúrico al 72% y se mantuvo durante 2 h con agitación constante a temperatura ambiente, después se diluyó con agua hasta alcanzar una concentración del ácido del 3% y se hirvió a reflujo por 4 h. La muestra se filtró, se lavó con agua caliente y se secó a  $105 \pm 3$  °C hasta alcanzar peso constante.

### Análisis estadísticos

Los valores obtenidos de los componentes químicos fueron sometidos a análisis de varianza con un factor (tipo de madera: sana e infectada). El valor de probabilidad  $\alpha$  establecido para calificar como significativas a las diferencias encontradas en la fuente de variación fue de 0,05. Los resultados obtenidos se procesaron con el programa *Statistica* ver. 7,0.

## Resultados y discusión

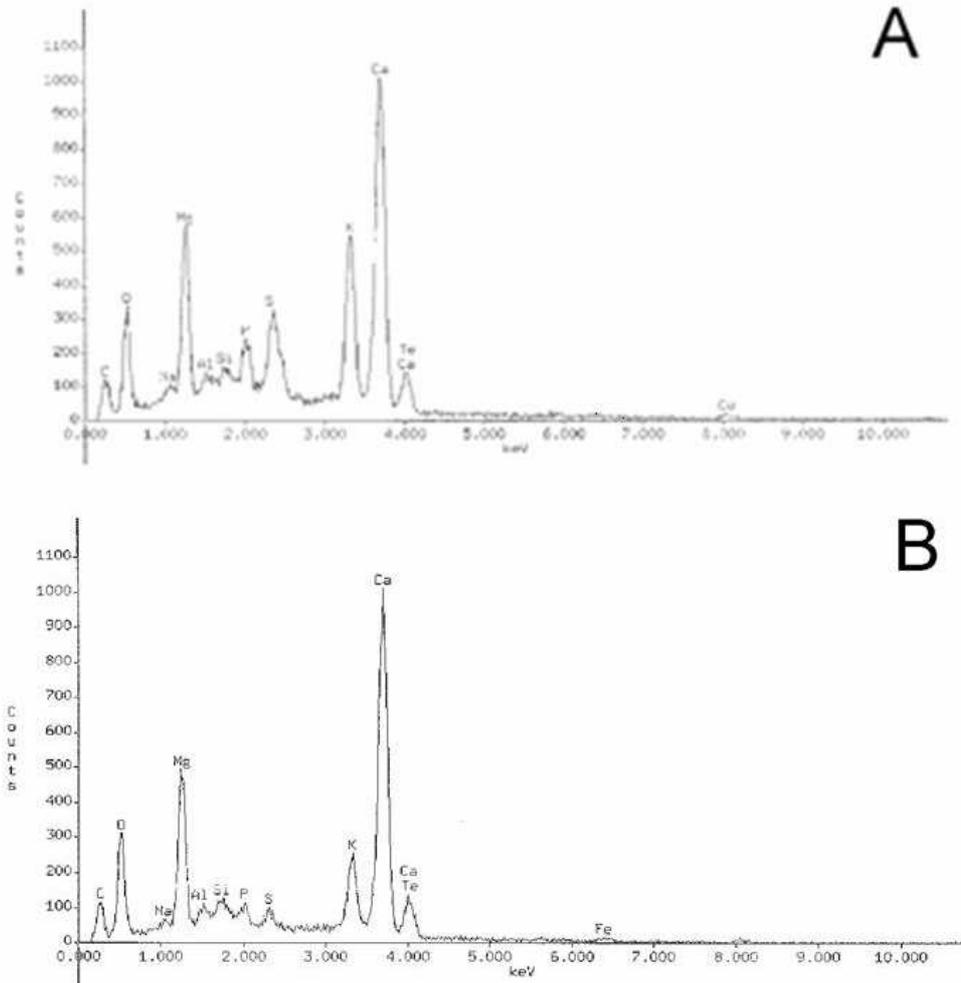
**Sustancias inorgánicas.** El mayor contenido de cenizas correspondió a la madera sana con respecto a la madera infectada, aunque sin diferencia significativa ( $P = 0,3251$ ) (Cuadro 1). De la Paz *et al.* (2006) y Agrios (2007) encontraron que muchos fitopatógenos interfieren en una o más formas sobre la translocación del agua y los nutrientes inorgánicos a través de las plantas, lo que implica una menor cantidad de minerales en el hospedero al ser requeridos por la planta parásita, esta condición puede explicar los resultados obtenidos en este estudio. Los contenidos de cenizas fueron mayores a los encontrados por Rutiaga (2001) en duramen (0,08%) y en albura (0,16%) en *Pinus pseudostrobus*; sin embargo, los valores obtenidos estuvieron dentro del intervalo (0,1 – 0,5%) reportado para algunas especies de pino (Fengel y Wegener, 1989).

<b>CUADRO 1.</b> Composición química de madera de albura de <i>Pinus pringlei</i>			
Componentes	Contenido (%)		P
	Madera sana	Madera infectada	
Sustancias inorgánicas <sup>1</sup>	0,34(±0,03)	0,31(±0,02)	ns
Solubilidad en sosa <sup>1</sup>	8,48(±1,07)	9,87(±1,05)	ns
Extraíbles			
Etanol-ciclohexano <sup>1</sup>	0,83(±0,02)	0,67(±0,12)	ns
Agua caliente <sup>1</sup>	5,29(±0,82)	6,22(±0,76)	ns
Agua fría <sup>1</sup>	3,62(±0,72)	3,09(±0,31)	ns
Holocelulosa <sup>2</sup>	63,58(±5,55)	42,82(±2,87)	*
Lignina <sup>2</sup>	23,56(±2,42)	28,50(±0,31)	ns

<sup>1</sup>Contenido con base en madera libre de humedad.  
<sup>2</sup>Contenido con base en madera libre de humedad y extraíbles.  
P: probabilidades límites en ANOVA con un factor \*:  $P < 0.05$  ns:  $P > 0.05$

En cuanto a los elementos que se detectaron por espectroscopía de rayos X, tanto la madera sana como la infectada presentaron: calcio, potasio, magnesio, azufre, fósforo, sodio, aluminio y silicio. Además, para la madera sana se identificaron trazas de cobre y la madera infectada trazas de hierro (Figura 1). Los elementos encontrados en mayor proporción fueron: calcio, magnesio y potasio, principales componentes de las sustancias inorgánicas en la madera (Fengel y Wegener, 1989). La mayoría de los elementos encontrados son los mismos que mediante la misma técnica, Rutiaga (2001) encontró en duramen y albura de la madera de *Pinus pseudostrobus*. Entre los factores que influyen, tanto en la cantidad como

en la composición de las cenizas, se encuentran la edad, las condiciones de vida, el clima y la época de corta del árbol (Ávila, 1995).



**Figura 1.** Sustancias inorgánicas presentes en cenizas de madera de albura de *Pinus pringlei*. A. Madera sana. B. Madera infectada

**Solubilidad en sosa.** La madera infectada de *Pinus pringlei* presentó 1,39% más de solubilidad en sosa sin diferencia significativa respecto a la madera sana ( $P = 0,3211$ ) (Cua-

dro 1). Entre los extraíbles solubles en sosa se encuentran carbohidratos de bajo peso molecular, principalmente hemicelulosas, los cuales están relacionados con la susceptibilidad de la madera a pudrición por hongos o al deterioro por calor, luz, oxidación (TAPPI, 2000); lo que puede explicar la menor resistencia al deterioro de maderas infectadas por diversas especies de muérdago (De la Paz *et al.*, 2006). La solubilidad en sosa en ambas maderas resultó ser menor que la reportada para algunas especies de pino entre 11 y 25% (Rowell, 2005).

*Sustancias extraíbles.* La menor cantidad de extraíbles se obtuvo con la mezcla etanol-ciclohexano que en madera sana fue 0,83% y de 0,67% para madera infectada. La mayor solubilidad se logró con agua caliente tanto para madera infectada (6,22%) como para madera plagada (5,29%) (Cuadro 1). No se presentaron diferencias significativas para etanol-ciclohexano ( $P = 0,1920$ ), agua fría ( $P = 0,1893$ ) ni agua caliente ( $P = 0,8790$ ). Los volúmenes de contenidos de extraíbles solubles en agua caliente coinciden con los reportados para algunas especies de pino (1 – 6%) (Rowell, 2005).

*Holocelulosa.* El contenido de holocelulosa en madera sana fue mayor que en madera plagada ( $P < 0,05$ ) (Cuadro 1). La holocelulosa está integrada por celulosa y hemicelulosas, éstas son, en gran medida, las responsables de la resistencia mecánica de la madera. La celulosa es extremadamente resistente a la tensión y otros esfuerzos en dirección longitudinal, debido a los enlaces covalentes dentro del anillo piranoso y entre unidades monoméricas. La resistencia a la tensión de las moléculas de celulosa se debe a los enlaces de hidrógeno lo que le permite a la molécula absorber los esfuerzos ante esta sollicitación (Bergander y Salmén, 2002; Winandy y Rowell, 2005). Otros trabajos recientes han demostrado que las hemicelulosas influyen positivamente sobre la resistencia a la compresión, la dureza y, en general, a su resistencia en la dirección transversal (Winandy y Lebow, 2001; Bergander y Salmén, 2002; Konnerth *et al.*, 2010). La baja proporción de holocelulosa encontrada en este estudio en la madera infectada, puede explicar la disminución de los valores de esfuerzos de la madera de *Pinus pringlei* en flexión estática: al límite de proporcionalidad ( $E_{LP}$ ) en madera infectada con muérdago ( $586 \text{ kg/cm}^2$ ) con relación a la madera sana ( $766 \text{ kg/m}^2$ ); en compresión paralela, la disminución del  $E_{LP}$  ( $347 \text{ kg/m}^2$ ) y el esfuerzo máximo ( $E_{m\acute{a}x}$  R  $386 \text{ kg/m}^2$ ) en madera infectada respecto a la madera sana ( $418 \text{ kg/m}^2$  y  $468 \text{ kg/m}^2$ , respectivamente); y en compresión perpendicular la disminución del  $E_{LP}$  de madera infectada ( $116 \text{ kg/m}^2$ ) respecto al de la madera sana ( $132 \text{ kg/m}^2$ ) (Acevedo y Ambriz, 1999).

*Lignina.* El contenido de lignina en madera sana fue ligeramente menor que el obtenido para madera infectada no obstante la diferencia no fue significativa ( $P = 0,0794$ ) (Cuadro 1). En cuanto a la relación entre la lignina y las propiedades mecánicas de la madera, El-Osta *et al.* (1981) encontraron que el alto contenido de lignina proporciona mayor dureza en la pared celular lo que contribuye a incrementar su resistencia a esfuerzos de compresión. Por el contrario, Bodig y Jayne (1993) explican no está totalmente probada la contribución de la lignina para que la pared celular resista esfuerzos de compresión debido a la restricción del hinchamiento transversal de las microfibrillas. Al respecto, el mayor contenido de lignina que presentó la madera infectada, no explica la disminución de los  $E_{LP}$  en compresión.

sión paralela y perpendicular, determinada en madera de *Pinus pringlei* infectada con muérdago (Acevedo y Ambriz, 1999). La disminución en los esfuerzos mencionados en la madera infectada, puede estar relacionada, como ya se discutió, con el contenido de holo-celulosa y con la estructura anatómica y no con el contenido de lignina.

## Conclusiones

De acuerdo con el análisis químico de la madera de *Pinus pringlei* sana e infectada por muérdago *Psittacanthus macrantherus*, los contenidos de sustancias inorgánicas, sustancias extraíbles solubles en etanol-ciclohexano y en agua fría, y de celulosa resultaron ser mayores en madera sana; por el contrario la madera infectada presentó valores más altos de solubilidad en sosa, de sustancias extraíbles solubles en agua caliente y de lignina. El análisis estadístico mostró que no existe diferencia significativa entre los componentes químicos de la madera sana y la madera infectada, con excepción del contenido de holo-celulosa ( $P = 0,05$ ), lo que puede ser un factor que incida en la disminución de la resistencia mecánica de la madera de *Pinus pringlei* infectada.

**Agradecimientos:** La autora agradece a los responsables del Proyecto de Investigación Interinstitucional del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP), C.E. Uruapan y la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo la donación del material de estudio.

## Literatura citada

- Acevedo S., B.; Ambriz P., J.E. 1999. Efecto del muérdago (*Psittacanthus macrantherus* Eichl.) en las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus pringlei* Shaw. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 94 p.
- Agrios, G. N. 2007. Enfermedades de las plantas ocasionadas por plantas superiores parásitas. In: Fitopatología. 2ª ed. LIMUSA. México. 583-596 pp.
- ASTM (American Society for Testing and Materials ASTM). 1981. Annual Book of ASTM Standards. Vol 04.10 Wood. Philadelphia, United States of America.
- Ávila Calderón, L.E.A. 1995. Componentes inorgánicos en la madera. Ciencia y Tecnología de la Madera 5:24-27.
- Bello G., M. A. 1985. Estudio de muérdagos (Loranthaceae) en la región Tarasca, Michoacán. Boletín Técnico No. 102. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 62 p.
- Bergander, A.; Salmén, S. 2002. Cell wall properties and their effects on the mechanical properties of fibers. Journal of Materials Science 37:51-156.
- Bodig, J.; Jayne, B. A. 1993. Mechanics of wood and wood composites. Krieger Publishing Company. Florida, United States of America. 712 p.

- De la Paz Pérez Olvera, C.; Ceja Romero, J.; Vela Ramírez, G. 2006. Árboles y muérdagos: una relación que mata. *Revista de educación en ciencias e ingeniería* 59:38-34.
- El-Osta, M. L. M.; Lotfy, M.; Badran, O. A.; Ajour, E. M. A. 1981. Crushing strength of three Sudanese tropical hardwoods in relation to specific gravity, extractive and lignin contents. *Wood Science* 13(4): 225-232.
- Farjon, A.; Styles B.T. 1997. *Pinus* (Pinaceae). *Flora Neotropica Monograph* 75. The New York Botanical Garden. New York, United States of America. 291 p.
- Fengel, D.; Wegener, G. 1989. *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter. Berlín, Germany. 415 p.
- Geils, B. W.; Cibrián Tovar, J.; Moody, B. (Tech. Coord). 2002. Mistletoes of North American Conifers. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-98. U.S. Department of Agriculture, Forest Service. United States of America. 123 p.
- Hansen, E. M.; Lewis K. J. 2003. *Plagas y enfermedades de las coníferas*. Mundi-Prensa. Madrid. España. 101 p.
- Howell, B., Kenaley, S., Mathiansen, R. 2006. First Report of *Psittacanthus macrantherus* on *Pinus devoniana* and *Quercus castanea* in Mexico. *Plant disease* 90(11):1461.
- Konnerth, J.; Eiser, M.; Jäger, A.; Bader, T. K.; Hofstetter, K; Follrich, J.; Ters, T; Hansmann, C; Wimmer, R. 2010. Macro- and micro-mechanical properties of red oak wood (*Quercus rubra* L.) treated with hemicelluloses. *Holzforschung* 64: 447-453.
- Martínez, M. 1992. *Los pinos mexicanos*. 3ª ed. LIMUSA. México. 361 p.
- Rowell, R. 2005. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Taylor & Francis. United States of America. 473 p.
- Rutiaga Quiñones, J. G. 2001. *Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden Pilzen*. Buchverlag Gräffling. München. Germany. 210 s.
- Sánchez González, A. 2008. Una visión actual de la diversidad y distribución de los pinos de México. *Madera y Bosques* 14(1):107-120.
- Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). 2010. Anuario estadístico de la producción forestal 2007. [Internet]. Disponible en: [http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/foretalsuelos/Anuarios/ANUARIO\\_2007](http://www.semarnat.gob.mx/temas/gestionambiental/foretalsuelos/Anuarios/ANUARIO_2007). Fecha de acceso: 18/05/2011.
- Technical Association for Pulp and Paper Industry (TAPPI). 2000. *TAPPI Test Methods (1994-1995)*. TAPPI Press. Atlanta. United States of America.
- Vázquez Collazo, I. 1993. Contribución al conocimiento del muérdago verdadero (*Psittacanthus* sp.). Folleto Técnico No. 11. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Agropecuarias. Secretaría de Agricultura y Recursos Hidráulicos. México. 41 p.

- Vázquez Collazo, I.; Madrigal Huendo, S. 2005. Control químico del muérdago enano (*Arceuthobium globosum*) en regeneración de *Pinus pseudostrobus*. *Ciencia Nicolaita* No. 41:69-82.
- Winandy, J. R.; Lebow, P.K. 2001. Modeling strength loss in wood by chemical composition. Part I. An individual component model for southern pine. *Wood and Fiber Science* 33(2):239-254.
- Winandy, J. R.; Rowell, R. M. 2005. Chemistry of wood strength. *In*: Rowell. 2005. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. Taylor & Francis. United States of America. pp 303-347.