

CALIDAD DE MAQUINADO DE LA MADERA DE *Quercus affinis* y *Quercus laurina*

R. Flores-Velázquez¹; J. V. Rangel-Piñón²;
J. Quintanar-Olguin¹; M. E. Fuentes-López¹;
L. Vázquez-Silva¹

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias,
CIR-Centro, Campo Experimental San Martinito.
Km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla C. P. 74100, Tlahuapan, Puebla.
Correo-e: cesmar@compu_redes.net.mx
²Comisión Forestal del estado de Michoacán.
Correo-e: vrangel@cofom.michoacan.gob.mx

RESUMEN

Se determinaron las características de maquinado con base en la norma ASTM D 1666-87, en las operaciones de cepillado, barrenado, moldurado, torneado y lijado de la madera de *Quercus affinis* y *Quercus laurina*. Los mejores resultados de cepillado para *Q. affinis* se encontraron al combinar el ángulo de corte de 15° y una velocidad de alimentación de 7.5 m·min⁻¹, para *Q. laurina* no hubo influencia del ángulo de corte. En el barrenado se obtuvieron excelentes resultados con las dos velocidades de giro de broca probadas. Para el moldurado, los resultados para las dos especies fueron excelentes en ambos cortes. En el torneado se encontró que no existe influencia del contenido de humedad para *Q. laurina*, mientras que para *Q. affinis* se clasificó como buena para un contenido de humedad menor y excelente para el mayor contenido de humedad. Y para el lijado los resultados fueron excelentes. De acuerdo a los resultados de las pruebas, las dos especies son apropiadas para ser utilizadas por la industria maderera para la elaboración de productos terminados de alta calidad.

PALABRAS CLAVE: *Quercus*, cepillado, barrenado, moldurado, torneado, lijado.

BEHAVIOR TO THE MACHINING OF TWO OAK SPECIES

SUMMARY

Machining characteristics in the planing, boring, shaping, turning and sanding operations were evaluated in two oak species, *Quercus affinis* and *Quercus laurina*. Tests were made according with the standard ASTM-D 1666-87. Best results of planing for *Q. affinis* were obtained with a combination of 15° cutting angle and feed rates of 7.5 m·min⁻¹. Influence of cutting angle was not observed in *Q. laurina*. Boring test, showed excellent results with the two speeds of reel turn tested. Shaping test, an excellent classification was obtained for both oak species. Turning test showed not influence of humidity content in *Q. laurina*, but in *Q. affinis* a classification of good was reached with smaller humidity content, and excellent for major humidity content. And sanding test all species were classified as excellent. According with tests results, the two oak species are appropriate to be utilized by lumber industry, and high quality products can be elaborated.

KEY WORDS: *Quercus*, planing, boring, shaping, turning and sanding.

INTRODUCCIÓN

De la superficie total de bosques con que cuenta el país de acuerdo con SARH (1994), 21.6 millones de hectáreas tienen potencial comercial. De esta superficie, en el 2000 sólo se aprovecharon 7.1 millones de hectáreas

(33 %). De incorporarse toda la superficie potencial al manejo, se producirían anualmente alrededor de 30 millones de metros cúbicos de madera, de los cuales 38 % podría provenir de coníferas, 32 % de especies tropicales y 30 % de encinos y otras especies de latifoliadas (SEMARNAT, 2001).

En la actualidad de los volúmenes aprovechables que son autorizados anualmente en México, 20 % en promedio corresponde a encino, pero debido a su particular problemática de utilización, en el 2000 sólo se extrajo aproximadamente la sexta parte de ese volumen; es decir, 918,603 m³r (SEMARNAT, 2001), debido en gran medida a la mala aplicación de las técnicas silvícolas y el desconocimiento de las características tecnológicas de los géneros diferentes al de coníferas; específicamente el género *Quercus*, ocasionando con esto que los bosques de clima templado frío tiendan a ser de encinares y en el mejor de los casos, bosques de encino-pino. De aquí la importancia de profundizar en el conocimiento de la trabajabilidad de las maderas provenientes de los encinos mexicanos.

Las características de maquinado son de primordial importancia entre las propiedades tecnológicas de la madera, ya que determinan la facilidad o dificultad de su procesamiento al ser sometida a las máquinas y herramientas utilizadas en las distintas operaciones de labrado, su desconocimiento, junto con otras causas ha ocasionado que los encinos como ya se mencionó, estén siendo subutilizados y no se destinen a productos de alta calidad y más remunerativos.

En México, son escasos los trabajos sobre maquinado de la madera, pero lo son aún más los de encinos, lo que ha ocasionado que las maderas duras como la de este género, se trabajen de manera similar que las maderas suaves (pino), ocasionando que la calidad obtenida en cuanto a tersura se refiere no sea la mejor.

Para mejorar la calidad en el cepillado de la madera de encino se recomienda utilizar un ángulo de corte entre 10 y 20° en función del contenido de humedad de la misma y una profundidad de corte de 1/16" (Herrera, 1981; Quiñones y Herrera, 1984; Wengert, 1988; Flores y Fuentes, 1995; Flores y Fuentes 2002; Flores *et al.*, 2002) y, con ángulos de corte de 30°, Wengert (1988) señala que es necesario reducir la profundidad de corte a 1/32" y que la madera tenga un contenido de humedad entre 6 y 10 %, con la ventaja de que al utilizar un ángulo de corte mayor tanto el consumo de energía como el desafilado disminuyen.

La velocidad de alimentación también juega un papel importante en la calidad de la superficie cepillada, pues se ha comprobado que en la medida que ésta se reduce la calidad de la superficie se incrementa. Lo cual se debe a que al reducir dicha velocidad, la cantidad de madera que tiene que remover cada cuchilla al cortar, es menor, o sea, que el número de marcas de cuchilla por unidad de superficie es mayor (Herrera, 1981; Torelli, 1982; Quiñones y Herrera, 1984; Flores y Fuentes, 1995; Flores y Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002). Por lo que se puede decir entonces que la mejor calidad de cepillado en la madera de encino se obtiene combinando un ángulo de corte reducido con una velocidad de alimentación también reducida.

En cuanto a la calidad de maquinado de la madera de encino en los ensayos de barrenado, moldurado, torneado y lijado, en general se puede señalar que los resultados que se obtienen son de buenos a excelentes (Herrera, 1981; Torelli, 1982; Quiñones y Herrera, 1984; Flores y Fuentes, 1995; Flores y Fuentes, 2002; Flores *et al.*, 2002) y se ven seriamente influenciados por la presencia de hilo irregular ocasionado por nudos. Además, Flores y Fuentes (2002) señalan que el contenido de humedad afecta la calidad del torneado, obteniéndose mejores resultados con contenidos de humedad por arriba del 12 %.

Al determinar la influencia de las propiedades físicas y mecánicas en el maquinado de *Q. affinis* y *Q. crassifolia*, Fuentes *et al.* (1998), mencionan que los resultados de maquinado obtenidos muestran un comportamiento excelente, porque las maderas con hilo recto y densidad alta presentan un acabado más terso que las ligeras y frecuentemente también se maquinan mejor, aunque presentan la desventaja que hay una mayor remoción de sustancia madera por lo tanto, también requieren mayor cantidad de energía en su procesamiento y causan además un rápido desafilado de las herramientas de corte.

Los objetivos del estudio fueron determinar las características de maquinado en las operaciones de: cepillado, barrenado, moldurado, torneado y lijado de la madera de *Q. affinis*, y *Q. laurina*, evaluar el efecto de cuatro ángulos de corte combinados con dos velocidades de alimentación en la calidad de cepillado y evaluar la influencia de dos contenidos de humedad en el torneado.

MATERIALES Y MÉTODOS

De las dos especies utilizadas en el presente trabajo la madera de *Q. affinis* fue recolectada en el municipio de Acaxochitlán, Hidalgo y *Q. laurina* en la Sierra Juárez de Oaxaca.

Las tablas de donde se obtuvieron las probetas se seleccionaron de un lote de madera aserrada, con contenidos de humedad de: 11.3 % *Q. affinis*, y 10.9 % *Q. laurina*. Para el ensayo de torneado se acondicionaron 50 probetas por especie a un contenido de humedad de: *Q. affinis* 15.5 %, y *Q. laurina* 16.0 %.

El número y especificaciones de las probetas de ensayo fueron de acuerdo a lo que establece la norma ASTM D 1666-87, excepto que las probetas de ensayo se obtuvieron saneando tablas de diferentes dimensiones como se muestra en la Figura 1.

Para el ensayo de cepillado se utilizaron probetas con los contenidos de humedad ya señalados y 16.9 y 29.3 de marcas de cuchilla por centímetro. Para el ensayo de barrenado se probaron dos velocidades de giro del cabezal 1,300 y 2,500 rpm. En el ensayo de torneado los contenidos

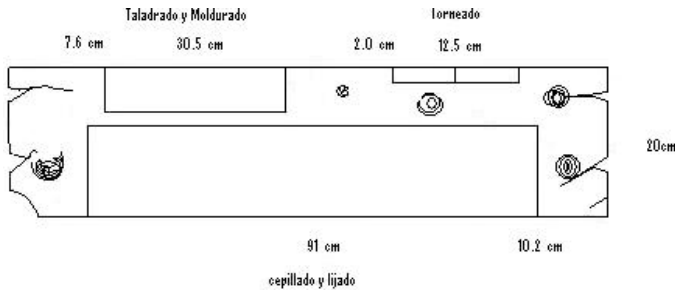


FIGURA 1. Obtención de probetas de ensayo.

de humedad de las probetas utilizadas fueron los ya mencionados anteriormente.

Para el ensayo de lijado se utilizó una lijadora de banda con velocidad de alimentación promedio de $6.50 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, ejerciendo una presión constante sobre el cojín opresor de 4,573 kg, esto, en lugar de la lijadora de tambor de dos cabezas que especifica la norma. Las lijas usadas fueron de grano 80 y 100 de granate.

La evaluación de los ensayos se realizó como lo establece la Norma ASTM D 1964-87 (ASTM, 1992), basándose en la presencia y severidad de los defectos de: grano astillado, grano apelmusado, grano levantado, marcas de astilla, grano rasgado, grano comprimido y rayones, examinando las probetas visualmente y clasificándolas en cinco categorías, Cuadro 1.

La evaluación de la calidad de maquinado de la madera de las especies se realizó considerando la suma del porcentaje de piezas excelentes (E) y buenas (B), de acuerdo a la clasificación que se presenta en el Cuadro 2, excepto en el ensayo de torneado en donde se incluye además el porcentaje de probetas clasificadas como regulares, de acuerdo con la norma antes citada.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el caso de la madera de *Q. affinis*, la calidad más

CUADRO 1. Evaluación y clasificación de las probetas de ensayo.

Grado	Condición	Descripción
1	Excelente	Libre de defectos
2	Buena	Con defectos superficiales que pueden eliminarse con lija del número 100
3	Regular	Con defectos marcados que pueden ser eliminados utilizando una lija gruesa del número 60 y después una lija fina del número 100
4	Pobre	Con defectos severos que para eliminarse se requiere trabajar de nuevo la pieza de madera
5	Muy pobre	Con defectos muy severos los cuales para eliminarlos será necesario sanear la pieza de madera

CUADRO 2. Clasificación de la calidad de maquinado en función del porcentaje de piezas excelentes más buenas.

% de piezas E + B	Clasificación
90-100	Excelente
80-89	Buena
60-79	Regular
40-59	Pobre
0-40	Muy pobre

baja en cepillado resultó al combinar un ángulo de corte de 30° y una velocidad de alimentación de $13 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$ con la cual se obtuvieron 16.9 marcas de cuchilla por centímetro, con una clasificación regular, y la mejor se obtuvo al utilizar un ángulo de 15° en combinación con una velocidad de alimentación de $7.5 \text{ m}\cdot\text{min}^{-1}$, para 29.3 marcas de cuchilla por centímetro con una clasificación de excelente (Cuadro 3).

Los excelentes resultados obtenidos combinando el ángulo de 15° con un mayor número de marcas de cuchilla por centímetro, se deben en gran medida a la alta dureza de su madera, que le imprime un mayor grado de rigidez a las

CUADRO 3. Calidad de cepillado de la madera de *Q. affinis*.

Ángulo de corte	Velocidad de alimentación en m/min	Número de marcas de cuchilla/cm	% Excelentes más buenas	Clasificación	Defecto más frecuente
15°	7.5	29.3	100	Excelente	
	13.0	16.9	96	Excelente	G. astillado
20°	7.5	29.3	98	Excelente	G. astillado
	13.0	16.9	88	Buena	G. astillado
25°	7.5	29.3	96	Excelente	G. astillado
	13.0	16.9	84	Buena	G. astillado
30°	7.5	29.3	86	Buena	G. astillado
	13.0	16.9	78	Regular	G. astillado

fibras, reduciendo con esto la presencia del grano apelmusado, que por lo reducido del ángulo es el defecto que se esperaba se presentara. Por otro lado, algunas de las características anatómicas de la madera de esta especie, como la distribución de semicircular a circular de su porosidad, su hilo recto y la uniformidad del tamaño de sus poros la hacen apropiada para un buen maquinado. Además, la combinación entre el ángulo de corte y el número de marcas de cuchilla por centímetro ya señalada, permitió contrarrestar el efecto de la presencia de hilo irregular, provocado por nudos en las tablas de donde se obtuvieron las probetas de ensayo, situación que no se dio cuando se combinó el ángulo de 30° con un número de marcas de cuchilla por centímetro de 16.9, lo que ocasionó que los resultados fueran apenas regulares por el defecto de grano astillado que fue el defecto más frecuente.

Obteniéndose los mejores resultados con la velocidad de alimentación menor, es decir, la de 7.5 m·min⁻¹, que permite tener un mayor número de marcas de cuchilla por centímetro y un volumen de madera a remover por cuchilla menor, lo cual coincide con los resultados presentados por Flores *et al.* (2002) para esta misma especie, ya que aun cuando este último utilizó números de marcas de cuchilla por centímetro menores, señala que a mayor número de marcas de cuchilla por centímetro mayor calidad de cepillado y que a menor ángulo de corte mejores resultados de cepillado.

Para el *Q. laurina* los mejores resultados se obtuvieron con la combinación de la velocidad de alimentación de 7.5 m·min⁻¹ y ángulos de corte de 15, 20, 25 y 30°, lo que significa que el ángulo de corte en este caso no tuvo una influencia marcada en la calidad de cepillado, y que más bien el número de marcas de cuchilla por centímetro que está determinado por la velocidad de alimentación, fue el que definió la clasificación obtenida. Aunque se debe destacar que en general los resultados fueron excelentes para esta especie, con excepción de la combinación del ángulo de corte de 30° y 16.9 marcas de cuchilla por centímetro que presentó una buena clasificación, apenas por debajo del porcentaje

de probetas excelentes más buenas requeridas para alcanzar la categoría de excelente (Cuadro 4). Estos resultados se pueden atribuir a las características tecnológicas presentadas por la madera de esta especie como es que sea pesada, de dureza alta y de hilo recto, que la hacen apropiada para un excelente maquinado. La presencia del grano astillado que fue el defecto más frecuente se puede explicar por el hilo irregular, provocado por nudos en las tablas de donde se elaboraron las probetas de ensayo.

Los resultados obtenidos para *Q. laurina* coinciden con los presentados por Flores y Fuentes (2002) para esta misma especie, quienes señalan que el número de marcas de cuchilla por centímetro influye de manera directa en la calidad de cepillado.

Los mejores resultados se obtienen combinando un ángulo de corte pequeño con una menor velocidad de alimentación. El efecto de ésta última es mayor, pues, en las dos especies es claro el efecto del número de marcas de cuchilla por centímetro.

El excelente resultado obtenido en el ensayo de barrenado se debe a la rigidez de las fibras de la madera, lo que contrarresta la presencia de grano comprimido, presentándose sólo el grano apelmusado con poca severidad sin que influyera en la calidad de la superficie de la perforación. La calidad del barrenado se mejora al disminuir la velocidad de penetración al iniciar el contacto de la broca con la madera y aumentar después la velocidad de penetración para disminuirla nuevamente al final de la operación.

Los resultados obtenidos coinciden con los obtenidos por Flores *et al.* (2002) para *Q. affinis*, quienes no encontraron influencia de la velocidad de giro del portabrocas al probar las mismas velocidades de rotación que las probadas en este trabajo (Cuadro 5). Para *Q. laurina* se difiere de los resultados presentados por Flores y Fuentes (2002), ya que en el presente trabajo se obtuvieron excelentes resultados con las dos velocidades de giro de la broca probadas.

CUADRO 4. Calidad de cepillado de la madera de *Q. laurina*.

Ángulo de Corte	Velocidad de alimentación en m/min	Número de marcas de cuchilla/cm	% Excelentes más buenas	Clasificación	Defecto más frecuente
15°	7.5	29.3	100	Excelente	G. astillado
	13.0	16.9	92	Excelente	G. astillado
20°	7.5	29.3	100	Excelente	G. astillado
	13.0	16.9	90	Excelente	G. astillado
25°	7.5	29.3	96	Excelente	G. astillado
	13.0	16.9	90	Excelente	G. astillado
30°	7.5	29.3	100	Excelente	G. astillado
	13.0	16.9	86	Buena	G. astillado

CUADRO 5. Calidad de la madera de las dos especies de encino al barrenado.

Especie	Rpm de la broca	T.E.C.	Vel. de alimentación en m/min	% Excelentes más buenas	Clasificación	Defecto más frecuente
<i>Q. affinis</i>	1,300	15.47	0.074	100	Excelente	G. apelsado
	2,500	7.6	0.150	100	Excelente	G. apelsado
<i>Q. laurina</i>	1,300	16.7	0.068	100	Excelente	G. apelsado
	2,500	7.8	0.146	100	Excelente	G. apelsado

T.E.C.: Tiempo efectivo de corte.

En el ensayo de moldurado se obtuvieron resultados excelentes. Por las dimensiones reducidas de las probetas utilizadas en este ensayo se pudo evitar la presencia de hilo irregular en las mismas con lo que se redujo la presencia del grano astillado, presentándose este defecto principalmente al cambiar el corte de la dirección transversal a la longitudinal, en tanto que la presencia del grano apelsado fue superficial y no influyó en su clasificación. Esto también se puede atribuir a la velocidad de giro (8000 rpm) del cabezal porta-herramientas de corte empleada y a las características anatómicas y propiedades físico-mecánicas de la madera de las especies estudiadas, que ya se han señalado con anterioridad. Los resultados obtenidos (Cuadro 6) para el corte final difieren de los presentados por Flores *et al.* (2002), para *Q. affinis*, pues ellos clasificaron los resultados para este corte final como regulares, pero su clasificación para el corte preliminar coincide con la que se tuvo en este trabajo. Para *Q. laurina* se coincide con los excelentes resultados presentados por Flores y Fuentes (2002) para la misma especie.

En el ensayo de torneado los contenidos de humedad

probados no presentan un efecto determinante en la calidad de la superficie torneada, ya que aún en el caso del *Q. affinis* donde se obtuvo una clasificación de buena para el contenido de humedad de 11.3 %, se encuentra en el límite superior del porcentaje de probetas excelentes más buenas más regulares de esta categoría, lo que implica que si se hubiese obtenido una probeta más con regulares características de torneado ésta también habría tenido excelentes resultados para este ensayo, lo que difiere de lo señalado por Flores y Fuentes (2002), quienes mencionan que el contenido de humedad afecta la calidad del torneado. El hecho de que en general se hayan obtenido excelentes resultados para este ensayo en ambos contenidos de humedad se puede deber a que los contenidos de humedad de las probetas utilizadas fueron mayores a 10 % como se puede observar en el Cuadro 7.

El hilo recto y la dureza alta, contrarrestaron el efecto de la textura gruesa heterogénea de la madera de las dos especies y permitieron obtener resultados excelentes en la prueba de lijado (Cuadro 8), presentándose como defecto más frecuente el grano apelsado de forma muy superficial;

CUADRO 6. Calidad de la madera de las dos especies de encino al moldurado.

Especie	Rpm de la fresa	T.E.C.	Vel. de alimentación en m/min	% Excelentes más buenas	Clasificación	Defecto más frecuente
<i>Q. affinis</i>	8000P	7.6	3.15	96	Excelente	G. astillado
	8000F	8.6	2.79	100	Excelente	G. apelsado
<i>Q. laurina</i>	8000P	9.6	2.50	94	Excelente	G. astillado
	8000F	6.3	3.80	98	Excelente	G. astillado y apelsado

T.E.C.: Tiempo efectivo de corte; P: corte preliminar; F: corte final.

CUADRO 7. Calidad de la madera de las dos especies de encino al torneado.

Especie	Rpm del torno	T.E.C.	C. H. en %	% Excelentes + buenas + regulares	Clasificación	Defecto más frecuente
<i>Q. affinis</i>	3270	13.7	11.3	88	Buena	G. astillado
	3270	9.8	15.5	96	Excelente	G. astillado
<i>Q. laurina</i>	3270	14.7	10.9	96	Excelente	G. apelsado
	3270	9.9	16.0	100	Excelente	G. astillado

T.E.C.: Tiempo efectivo de corte.

CUADRO 8. Calidad de la madera de las dos especies de encino al lijado.

Especie	Vel. de la banda en m·min ⁻¹	T.E.L.	C. H. en %	% Excelentes más buenas	Clasificación	Defecto más frecuente
<i>Q. affinis</i>	1,152	8.9	11.3	100	Excelente	G. apelsado
<i>Q. laurina</i>	1,152	8.5	10.9	100	Excelente	G. apelsado

T.E.L.: Tiempo efectivo de lijado.

coincidiendo los resultados obtenidos con los reportados por Flores *et al.* (2002) para *Q. affinis* y Flores y Fuentes, 2002 para *Q. laurina*.

CONCLUSIONES

La mejor calidad de superficie de la madera en el ensayo de cepillado se obtuvo utilizando un número mayor de marcas de cuchilla por centímetro (29.3); cuando el número de marcas fue menor (16.9) para un determinado ángulo, los resultados fueron de menor calidad.

La presencia del hilo irregular, degrada la calidad del cepillado de la madera.

La madera de las especies estudiadas presenta excelentes características de maquinado en las operaciones de torneado, taladrado, moldurado y lijado.

Los contenidos de humedad probados no presentaron ningún efecto sobre la calidad del torneado.

La madera de estas especies por su excelente comportamiento ante las máquinas y herramientas es apropiada para ser utilizada por la industria maderera en la elaboración de productos terminados con un mayor valor agregado como molduras, lambrines, parquet y muebles.

LITERATURA CITADA

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). 1992. Annual book of ASTM standards. Construction section 04 wood. Philadelphia. U.S.A. pp. 260-279.

FLORES V., R.; FUENTES L., M. E. 1995. Características de maquinado de *Quercus affinis*, *Q. crassifolia*, *Q. glabrescens* y *Q. mexicana*. Folleto científico Núm. 1. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 14 p.

FLORES V., R.; FUENTES L., M. E. 2002. Maquinado de la madera. In: Quintanar O, J. (Ed.). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. INIFAP-CIRCE. C. E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. Libro Técnico Núm. 2. pp. 178-195

FLORES V., R.; FUENTES L., M. E.; QUINTANAR O., J. 2002. Maquinado de dos especies de encino (*Quercus affinis*, y *Quercus crassifolia*) del estado de Guanajuato. Ciencia Forestal en México. 27(91):55-65.

FUENTES L., M. E.; QUINTANAR O., J.; FLORES V., R. 1998. Influencia de las propiedades físicas y mecánicas en el maquinado de dos especies de encino. In: Memoria de resúmenes del II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Morelia. pp. 25

HERRERA B., A. 1981. Avance en la determinación de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en México. Ciencia Forestal en México. 6(34):45-63.

QUIÑONES O., J.; HERRERA B., A. 1984. Potencialidad y utilización de los encinos en el norte del país. Ciencia Forestal en México. 52(9): 3-10.

SECRETARÍA DE AGRICULTURA Y RECURSOS HIDRÁULICOS (SARH). 1994. Inventario Nacional Forestal Periódico 1992-1994. Subsecretaría Forestal y de Fauna Silvestre. México 81 p.

SECRETARÍA DE MEDIO AMBIENTE Y RECURSOS NATURALES (SEMARNAT). 2001. Anuario estadístico de la producción forestal 2000. Subsecretaría de Recursos Naturales; Dirección General Forestal. México. 154 p.

TORELLI, N. 1982. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Técnica México-Yugoslavia. SARH. SFF. UEK. México. 73 p.

WENGERT, E. M. 1988. The wood's doctor RX. Department of Forest Products. Virginia Polytechnic Institute and State University. Blacksburg, VA. 378 p.