

COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CUATRO ESPECIES DEL GÉNERO *Quercus*

Roberto Bautista Hernández¹ y José Amador Honorato Salazar²

RESUMEN

El presente estudio se llevó a cabo para conocer la composición química de cuatro encinos: *Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia*, *Q. rugosa* y *Q. oleoides*. Muestras de albura, duramen y mezcla de albura-duramen se extrajeron de cada especie y se utilizaron para determinar los contenidos de celulosa, pentosanos, lignina, extractos de etanol-benceno, extractos de agua caliente, ceniza y taninos. También se obtuvo el porcentaje de taninos presentes en la corteza y el valor de su pH. En general, el contenido de celulosa fue de 46.18 a 52.94%; los pentosanos variaron de 19.08 a 20.61%; los datos de lignina estuvieron entre 20.40 y 23.35%. El contenido de extractivos fue de 1.02 a 4.83% para etanol benceno, en el caso de agua caliente de 4.35 a 9.07%; y para ceniza de 0.36 y 0.76%. Los taninos presentes en la madera fueron del orden de 0.29 a 2.16%, mientras que en la corteza de 5.48 a 7.18%. El pH medido por el método de agitación estuvo en un rango de 3.94 a 5.10, y por la técnica del agua caliente se registraron valores de 3.51 a 5.22. El análisis estadístico de varianza de los resultados mostró que existe una diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las especies y el tipo de muestra para los compuestos químicos y valores determinados. Cuando se agruparon los taxa en encinos rojos y encinos blancos, el contenido de extractos de agua caliente, los taninos de la madera y la corteza no tuvieron diferencia significativa entre tipos de encinos.

Palabras clave: Composición química, encinos, extractivos, *Quercus*, química de la madera, valores de pH.

Fecha de recepción: 02 de mayo de 2005.

Fecha de aceptación: 09 de marzo de 2006.

¹ Correo-e: rbautistah1@hotmail.com.

² Campo Experimental San Martinito, C.I.R. Centro, INIFAP.

ABSTRACT

This study was carried out to determine the chemical composition of four Mexican oak species: *Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia*, *Q. rugosa* and *Q. oleoides*. Samples of sapwood, heartwood and a mixture of sapwood-heartwood were taken from each species and used to determine contents of cellulose, pentosans, lignin, ethanol-benzene extract, hot water extract, ash and tannin. Bark tannin content was also determined for each species, as well as pH-value of wood. In general, the cellulose content was in the range of 46.18 to 52.94%. The amount of pentosans was from 19.08 to 20.61%. Lignin content was between 20.40 and 23.35%. Extractive content was between 1.02 and 4.83% for ethanol-benzene extract and from 4.35 to 9.07% for hot water extract. Ash content ranged from 0.36 to 0.76%. Tannin content was between 0.29 and 2.16% for wood, and from 5.48 to 7.18% for bark. The pH-value was between 3.94 and 5.10 for the stirring method and from 3.51 to 5.22 for the hot water method. Analysis of variance of the data showed a significant difference ($p < 0.05$) between species and sample type for the chemical components. When the species were divided into red and white oaks, contents of hot water extract, wood tannin and bark tannin did not show any significant difference between both groups.

Key words: Chemical compounds, oak, extractives, *Quercus*, wood chemistry, pH-value.

INTRODUCCIÓN

El estudio de la composición química de la madera es fundamental para la aplicación de este material en diversos procesos industriales, entre ellos la producción de pulpa y papel, taninos y en el futuro la obtención de sustancias que actúen como preservadores naturales de maderas. Las industrias de empaque, tableros, fibras celulósicas y plásticos, dependen en gran medida de dicho conocimiento; lo mismo ocurre con la manufactura de productos de madera combinados con otros materiales, por ejemplo, los nanomateriales (Turng *et al.*, 2003).

La composición química de la madera de las especies varía en función de la parte del árbol, del tipo de madera, de la localización geográfica, y de la calidad del sitio (Pettersen, 1984; Koch, 1985), así como de la distribución heterogénea del tejido leñoso, resultado de su estructura anatómica, por lo que su respuesta química es distinta debido a las diferentes sustancias que la forman (Honorato, 2002).

Los análisis químicos realizados en diversas especies han ayudado a definir la existencia de tres compuestos principales que integran la pared celular del tejido leñoso: celulosa, hemicelulosas y lignina; aunque también se ha detectado un grupo de sustancias conocidas como extraíbles, que tienen una gran influencia en las propiedades físicas y en el procesamiento de la madera, además del material

inorgánico, conocido como cenizas (Fengel y Wegener, 1989; Pettersen, 1984, Saka, 1991).

La determinación de celulosa es importante porque constituye la materia prima para la producción de papel, fibras sintéticas, materiales de construcción y derivados de celulosa (Immergut, 1975; Coffey *et al.*, 1995). Adicionalmente, es una alternativa de nutrición para los organismos que destruyen a la madera (Kirk, 1973).

Los pentosanos de la madera son componentes de las hemicelulosas que mediante el proceso de hidrólisis producen xilosa y arabinosa. Estos compuestos contribuyen a la resistencia del papel, por lo que un alto contenido es deseable en las especies utilizadas para la fabricación de papel (Wise y Lauer, 1982). A nivel industrial, de los pentosanos se puede obtener xilitol y furfural, que se usan, respectivamente, como enducolorante y solvente selectivo en la extracción de aceites lubricantes en la petroquímica (Hajny, 1981). Así mismo, un bajo contenido de pentosanos en la madera favorece su resistencia a la degradación química (Kass *et al.*, 1970), aspecto importante para su empleo en la construcción de torres de enfriamiento.

Desde el punto de vista industrial, un alto contenido de lignina implica problemas en los procesos de pulpeo, lo que aumenta los costos y contaminantes en la producción de papel de alta calidad (Jung y Ni, 1998). La lignina proporciona una superficie hidrofóbica y es un obstáculo para el ataque de patógenos y muchos organismos degradadores de la madera (Önnerud *et al.*, 2002); es materia prima para adhesivos, cosméticos, productos agroquímicos, alimentos para ganado y polímeros sintéticos, entre otros (Lindberg *et al.*, 1989).

Las cenizas contienen los compuestos inorgánicos de la madera esenciales para el crecimiento de los árboles. Sus componentes principales son sales de calcio, magnesio, potasio y en menor grado, hierro; los aniones más importantes: carbonato, fosfato, silicato y en algunas especies oxalato (Fengel y Wegener, 1989). Cuando el contenido de silicatos es mayor a 0.5% pueden causar problemas durante el procesamiento de la madera porque provocan el rápido desafilado de las herramientas de corte (Farmer, 1967; Krilov, 1980).

Conocer la cantidad de taninos presentes en los encinos es importante porque además de ser los responsables de la coloración y resistencia al ataque de hongos e insectos de la madera de duramen (Hart y Hillis, 1972; Haluk *et al.*, 1991), son utilizados en la industria de la curtiduría y para la fabricación de adhesivos (Rowe y Conner, 1979; Pizzi, 1994). Los taninos hidrolizables del duramen de los encinos blancos son los más empleados para el añejamiento de vinos, licores y cervezas (Mosedale, 1995).

La determinación del pH de la madera es fundamental para su uso efectivo y exitoso, principalmente, durante los procesos en donde los adhesivos y

barnices son sensibles a la acidez o alcalinidad. Los conectores metálicos en construcciones con madera son afectados por el pH (Fengel y Wegener, 1989; Medved y Resnik, 2004).

De acuerdo con trabajos realizados en Estados Unidos, Gran Bretaña, Japón y Rusia (Farmer, 1967; Kollmann y Côté, 1968; Kass *et al.*, 1970; Jones, 1978; Fengel y Wegener, 1989; Pettersen, 1984) la madera de encino tiene contenidos de celulosa entre 31 y 50%, hemicelulosas de 25 y 35%, pentosanos de 17 y 24% y lignina de 18 y 29%. Los extractivos van de 1.0 a 13.2%, mientras que la cantidad de cenizas de 0.1 a 1.4%. Para la corteza de los encinos americanos, el contenido de taninos fluctúa de 4 a 16% (Kollmann y Côté, 1968; Rowe y Conner, 1979; Ochoa y Ramírez, 1995).

En México, este tipo de investigaciones es limitado en especial para los encinos, a pesar de ser uno de los géneros maderables más importante por su diversidad, la superficie que ocupa y su amplia distribución (Rzedowski, 1978; Zavala, 1995). Los resultados obtenidos comprenden desde aspectos generales, como la determinación del pH hasta la caracterización de algunos compuestos químicos de su madera y de su corteza (Honorato y Hernández, 1998; Honorato, 2002).

Al respecto, los estudios de *Quercus affinis* Scheidw., *Q. candicans* Née, *Q. crassifolia* Humb. et Bonpl., *Q. glabrescens* Benth., *Q. laurina* Humb. et Bonpl., *Q. mexicana* Humb. et Bonpl., *Q. obtusata* Humb. et Bonpl., y *Q. resinosa* Liebm., indican que la cantidad de celulosa presente en su madera varía de 53 a 56%, los pentosanos de 18 a 22%, la lignina Klason de 15 a 22%, los extractivos en etanol-benceno de 3 a 5%, los extractivos en agua caliente de 4 a 6% y las cenizas de 0.23 a 1.2%. El contenido de taninos registrado es de 0.1 a 3.5% para la madera y de 3.2 a 10.4% para la corteza (Sandoval, 1979; Villalvazo y Faix, 1981; Honorato y Hernández, 1998; Rutiaga *et al.*, 2000).

El análisis químico de *Quercus candicans*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* y *Q. resinosa* (Villalvazo y Faix, 1981; Villalvazo *et al.*, 1981) ha mostrado que las hemicelulosas están compuestas en 27% por el polímero de O-acetil, 4-O-metilglucouronoxilana y que la lignina tiene, principalmente, grupos metoxilo (-OCH₃) (20.9%), seguido de los grupos hidroxilo (-OH) (12.6%) que están representados por los grupos -OH alifáticos.

El valor promedio del pH de la madera de encinos americanos y europeos oscila de 3.3 a 3.9; en los encinos japoneses fluctúa de 4.0 a 4.7 (Farmer, 1967), mientras que para la madera de duramen de las especies mexicanas *Quercus anglohondurensis* Ch Mull. y *Q. skinneri* Benth. se han citado datos de 3.93 y 4.3 y un contenido de cenizas de 0.31 y 0.45%, respectivamente (Torelli y Čufar, 1995 a y b).

Los contenidos de extractivos, material inorgánico y taninos es son muy superiores en la corteza que en la madera de *Quercus candicans*, *Q. laurina*, *Q. obtusata* y *Q. resinosa* (Sandoval, 1979) y algunas veces ligeramente mayores en las ramas que en la madera a 1.30 m de altura. Un factor que puede generar diferencias en los resultados son los métodos analíticos empleados en la determinación. Los trabajos de análisis de los principales compuestos de las especies anteriores realizados por Delgado (1980) y Villalvazo y Faix (1981) muestran que el contenido promedio de celulosa difiere hasta en 21.03%, lo que refleja la necesidad de utilizar en el análisis de la madera métodos estandarizados.

Dado que las investigaciones químicas de los encinos del país son limitadas, el presente estudio se realizó con la finalidad de conocer cuantitativamente los componentes químicos de *Quercus coccolobifolia* Trel., *Q. durifolia* Seem, *Q. rugosa* Née y *Q. oleoides* Cham. et Schtdl. y con ello contribuir al mejor uso de su madera.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las muestras de *Quercus coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa* fueron recolectadas en el ejido Cieneguitas-San Bartolo predio El Potrero que se localiza en la parte norte del estado de Guanajuato. La identificación taxonómica se realizó en el Herbario Nacional Forestal "Biól. Luciano Vela Gálvez" (INIF) del Centro Nacional de Investigación Disciplinaria en Conservación y Mejoramiento de Ecosistemas Forestales del INIFAP. El material de *Quercus oleoides* se recolectó en el municipio de Huatusco, Veracruz, en los predios del Centro Regional Universitario de Oriente ubicado en el km 6 de la carretera Huatusco-Jalapa y se identificó en el herbario de la División de Ciencias Forestales de la Universidad Autónoma Chapingo. *Quercus oleoides* y *Q. rugosa* son encinos blancos, mientras que *Q. coccolobifolia* y *Q. durifolia* pertenecen al grupo de los encinos rojos. Los diámetros de los árboles seleccionados fueron entre 42 y 66 cm.

Preparación de muestras

En la preparación de las muestras se utilizó una troza por especie de 2.7 m obtenida a 30 cm del tocón del árbol. De cada una se cortaron tres rodajas de 2 cm de grueso, una del centro y las otras dos aproximadamente a 15 cm de cada extremo; éstas se descortezaron y seccionaron en cuatro cuadrantes, se tomaron dos diametralmente opuestos que se separaron en albura y duramen, dejándose los otros dos para trabajar con mezclas de ambas estructuras. La madera de los cuadrantes se astilló y secó al aire libre. Las astillas secas se molieron en un molino tipo Wiley. Por último, el material se separó en diferentes granulometrías mediante mallas de los números 40 y 60. La corteza, que se secó al aire libre, se redujo manualmente a un tamaño adecuado para su molienda y se tamizó en mallas de los números 20 y 40.

La preparación del material libre de extractivos se realizó de acuerdo con el procedimiento de la norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1991a). 10 gr de madera molida y tamizada se sometieron a un proceso de extracción secuencial en un aparato Soxhlet con 400 mL de etanol-benceno (1:2 v/v) por 6 h, 400 mL de etanol por 5 h y 500 mL de agua destilada por 1 h. Después se realizó un lavado con 500 mL de agua destilada caliente y se dejó secar al aire libre.

En cada una de las especies se determinaron los contenidos de celulosa, pentosanos, lignina, extractivos en etanol-benceno y agua caliente, cenizas y pH de la madera, así como el contenido de taninos en la madera y la corteza. En cada caso se utilizaron cinco muestras.

Determinación de celulosa

Se utilizó el método modificado de Kurschner y Hoffer (Browning, 1967; Rodríguez, 1978). 1 gr de madera anhidra libre de extractos se colocó en un matraz; se le añadieron 20 mL de etanol y 5 mL de ácido nítrico concentrado. Se hirvió en baño María a reflujo durante 30 min. La solución se pasó por un filtro Gooch de porosidad media y peso conocido. El líquido se desechó y el sólido se sometió a una segunda digestión de 30 min con 25 mL de etanol-ácido nítrico. Se realizó una decantación como en la etapa anterior y se efectuó una tercera digestión con 100 mL de agua destilada por una hora.

La muestra se filtró en el Gooch, se lavó con agua destilada caliente, posteriormente con 100 mL de solución saturada de acetato de sodio y por último con 500 mL de agua destilada caliente. El residuo se secó en un horno eléctrico (TECSA[®], modelo HDP-867) a una temperatura de $105 \pm 3^{\circ}\text{C}$ para luego enfriarlo en un desecador de cristal sobre sílica gel y pesarlo. El porcentaje de celulosa se calculó con la siguiente relación:

$$\text{Celulosa (\%)} = \frac{P_{or}}{P_o} \times 100$$

Donde:

P_{or} = Peso seco del residuo (g)

P_o = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de pentosanos

La determinación de pentosanos se realizó con el método volumétrico de bromuro-bromato (Browning, 1967). 1 gr de madera anhidra sin extractos se sometió a destilación en un matraz de 500 mL con 100 mL de ácido clorhídrico (HCl) al 12%

(3.5N). El volumen de ácido se mantuvo constante mediante la adición de ácido clorhídrico por goteo con un embudo de separación. La velocidad de destilación fue ajustada a 2.5 mL por minuto. El destilado se colectó en un matraz Erlenmeyer sumergido en un baño de hielo. El proceso duró 90 min \pm 5 min, tiempo en el que se colectaron 225 \pm 10 mL de destilado, al cual se le agregó agua destilada hasta completar 300 mL y 250 g de hielo picado.

Cuando la mezcla alcanzó una temperatura de 0°C y se le añadieron 20 mL de solución bromuro-bromato 0.2 N (5.57 g de bromato de potasio, 50 g de bromuro de potasio y 1 g de carbonato de sodio, diluidos en 1 L de agua destilada), se cerró el frasco rápidamente, se agitó y dejó reposar durante 5 min. En seguida se adicionaron 10 mL de yoduro de potasio al 10% cerrando rápidamente, se agitó y se tituló el destilado con una la solución de tiosulfato de sodio 0.1 N hasta la desaparición del color.

Finalmente se agregaron dos gotas de almidón indicador para verificar el término de la reacción. Se realizó una titulación en blanco utilizando todos los reactivos y los tiempos de reacción, con excepción de los 270 mL de HCl al 12%, que se diluyeron a 350 mL, en lugar de los 300 mL del destilado más 50 mL de agua. El cálculo se efectuó de la manera siguiente:

$$\text{Pentosanos (\%)} = \frac{7.5 \times N \times (V_2 - V_1)}{P_0} - 1.0$$

Donde:

N = Normalidad de la solución del tiosulfato de sodio

V_1 = Volumen del tiosulfato gastado en la prueba (mL)

V_2 = Volumen del tiosulfato gastado en la titulación en blanco (mL)

P_0 = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de lignina

Para este caso se usó la norma TAPPI T 222 om-88 (TAPPI, 1991b). A un gramo de material anhidro, libre de extractos, se le agregaron 15 mL de ácido sulfúrico al 72%, manteniéndose en agitación en un baño María a 20 \pm 1°C. Después, la mezcla se transfirió a un matraz de ebullición donde se diluyó con agua destilada hasta obtener una concentración de ácido del 3%. Posteriormente la solución se hirvió a reflujo durante 4 h, se decantó durante 12 h y se filtró; el residuo se lavó con agua caliente para eliminar el ácido y se secó en un horno eléctrico (TECSA®).

modelo HDP-867) a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ hasta alcanzar un peso constante. El contenido de lignina se infirió con la siguiente fórmula:

$$\text{Lignina (\%)} = \frac{P_{OL} \times 100}{P_O}$$

Donde:

P_{OL} = Peso seco de la lignina (g)

P_O = Peso de la muestra libre de humedad (g)

Determinación de extractivos en etanol-benceno

La cantidad de extractivos solubles en etano-benceno se obtuvo de acuerdo con la norma TAPPI T 204 om-88 (TAPPI, 1991c). 2 gr de madera anhidra se depositaron en un dedal de extracción de celulosa pura Whatman®, el cual se colocó en un equipo Soxhlet con 150 mL de una mezcla de etanol-benceno (1:2 v/v). La temperatura se reguló de tal forma que se efectuaron seis extracciones por hora; a continuación, el solvente se evaporó a un volumen de 20 a 25 mL y el extracto se transfirió a un crisol de peso conocido, lavándolo con pequeñas cantidades de solvente fresco y se secó en un horno eléctrico (TECSA®, modelo HDP-867) por 1 h a $105 \pm 3^\circ\text{C}$. Una determinación en blanco se llevó a cabo para conocer el peso del residuo del solvente. El porcentaje de extractivos se calculó por medio de la expresión:

$$\text{Extractivos (\%)} = \frac{P_{OE} - P_{OB}}{P_{OM}} \times 100$$

Donde:

P_{OE} = Peso anhidro del extracto (g)

P_{OB} = Peso anhidro del residuo del solvente en blanco (g)

P_{OM} = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de extractivos solubles en agua

La extracción en agua caliente es un procedimiento que remueve de la madera compuestos inorgánicos, taninos, gomas, azúcares, material colorante y almidones (Browning, 1967). El tipo y la cantidad de estos extractos es diferente en la madera de albura y de duramen; en la primera, los azúcares están constituidos por glucosa,

fructuosa, sacarosa y almidón, que se relacionan con la función fisiológica; y en el duramen los azúcares están compuestos por xilosa, arabinosa y manosa, los cuales son formados por la hidrólisis parcial de las hemicelulosas (Kai, 1991).

La extracción con etanol-benceno permite remover de la madera sustancias como ceras, grasas, resinas, fotoesteroles, hidrocarburos no volátiles, carbohidratos de bajo peso molecular, sales y otros compuestos solubles en agua (Browning, 1967). Al igual que con los extractos solubles en agua caliente, existen diferencias de estos compuestos entre la madera de albura y de duramen. Los ácidos grasos presentes como ésteres, con alcoholes como el glicerol, predominan en la albura, en tanto que los ácidos resínicos que tienen un ácido carboxílico libre son más abundantes en el duramen (Kai, 1991).

Los análisis se basaron en la norma TAPPI T 207 (TAPPI, 1991d). 2 gr de madera anhidra fueron colocados en un matraz de ebullición de un litro y se les agregó 500 mL de agua destilada; se instaló un refrigerante en el matraz y se llevó a cabo una digestión por 3 h. Al finalizar, el contenido del matraz se transfirió a un crisol de filtrado de porosidad media y peso conocido, secado a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ en un horno eléctrico (TECSA[®], modelo HDP-867); se lavó con agua caliente y se secó hasta alcanzar un peso constante. La cantidad de extractos solubles se determinó con la fórmula:

$$\text{Extractivos en agua caliente (\%)} = \frac{P_O - P_{OAC}}{P_O} \times 100$$

Donde:

P_O = Peso anhidro de la muestra (g)

P_{OAC} = Peso anhidro de la muestra después de la extracción (g)

Determinación de cenizas

La determinación de cenizas se hizo de acuerdo con la norma TAPPI T 211 om-85 (TAPPI, 1991e). 2 gr de madera molida se pusieron en un crisol de peso conocido y se introdujeron en una mufla, calentándose lentamente hasta 100°C . La temperatura se aumentó de manera paulatina a $575 \pm 25^\circ\text{C}$ para carbonizar toda la muestra. Cuando el residuo cesó de carbonizarse se dejó que se calcinara durante 3 h más, hasta que no hubo partículas negras en el residuo. El crisol se enfrió a temperatura ambiente en un desecador y por último se pesó. El contenido de cenizas se calculó como:

$$\text{Cenizas (\%)} = \frac{P_C \times 100}{P_O}$$

Donde:

P_C = Peso de las cenizas (g)

P_O = Peso anhidro de la muestra (g)

Determinación de taninos

Para la cuantificación de taninos, se utilizó la metodología de la ALCA (American Leather Chemists' Association, 1964). 20 gr de madera o corteza anhidra y tamizada se colocaron en un matraz de fondo plano de 2 L para su destilación por 3 h y colectando 200 mL del extracto. El material obtenido se dejó reposar por 12 h. Enseguida se depositaron 50 mL de la solución en un crisol de peso conocido, se metieron a un horno eléctrico por 16 h a 100°C, y se pesaron (P_{OA}) para cuantificar los sólidos totales. A 100 mL de la solución tánica se le agregó 1 g de caolín y se agitó vigorosamente; se filtró durante 30 min o hasta obtener una solución cristalina.

El filtrado se realizó con fracciones de 50 mL, los cuales se regresaban a la solución inmediatamente después de filtradas. De esta solución se pipetearon 50 mL en un crisol de peso conocido, se evaporó y se secó por un periodo de 16 h a 100°C. El crisol y los residuos fueron enfriados en un desecador, y pesados (P_{OB}) para cuantificar los sólidos solubles. A 1 g de polvo de piel cromatada se le agregaron 25 mL de solución tánica original, dejándose en contacto durante 30 min con agitación constante y enérgica. Esta disolución se filtró en un embudo Buchner con papel filtro Watman No. 40 y en condiciones de vacío. El filtrado se transfirió a una cápsula de porcelana de peso conocido y se evaporó, secándolo hasta alcanzar un peso constante (P_{OC}). El contenido de taninos se determinó mediante las siguientes relaciones:

$$\%ST = \frac{40 \times P_{OA}}{P_O} \times 100$$

$$\%SS = \frac{40 \times P_{OB}}{P_O} \times 100$$

$$\%NT = \frac{40 \times P_{OC}}{P_O} \times 100$$

$$\% \text{ Taninos} = \% SS - \% NT$$

Donde:

P_O = Peso seco de la muestra libre de humedad (g)

P_{OA} = Peso seco de la solución obtenida en A (g)

P_{OB} = Peso seco de la solución obtenida en B (g)

P_{OC} = Peso seco de la solución obtenida en C (g)

% ST = Porcentaje de sólidos totales

% SS = Porcentaje de sólidos solubles

% NT = Porcentaje de no taninos

Determinación de pH

Para la determinación del pH se empleó la metodología descrita por Kubinsky e Ifju (1973) y la norma TAPPI T 252 om-90 (TAPPI, 1991f). El primer método consistió en realizar una mezcla de agua-madera (4:1 g/v) en un matraz Erlenmeyer de 125 mL con tapón al que se le introdujo un agitador. Posteriormente el matraz se colocó en un baño de agua a temperatura constante ($25 \pm 1^\circ\text{C}$) sobre un agitador magnético (Thomas Magne-Matic®, modelo 15), por un período de 3 h y al término se tomó la lectura del pH con un potenciómetro digital (Conductronic® PC 40) durante 3 min.

La segunda técnica consistió en poner dentro de un matraz de ebullición de 250 mL, 10 g de muestra seca; ésta se mezcló con 100 mL de agua destilada, se depositó sobre un plato caliente y se sometió a reflujo durante 3 h. Finalizado el período, se removió y se tapó para dejarlo enfriar hasta $25 \pm 1^\circ\text{C}$; el pH se midió con el potenciómetro digital durante 3 min.

Los resultados obtenidos se evaluaron estadísticamente mediante un análisis de varianza, en el cual los factores considerados fueron el tipo de madera y la especie; para la determinación de diferencias significativas de cada uno de ellos se utilizó la prueba de rangos múltiples de Duncan (Walpole y Myers, 1992). En ambos casos se usó el paquete estadístico SAS[®] (SAS, 1999-2000) con $\alpha = 0.05$.

La clasificación de los resultados fue de acuerdo a la propuesta de Rosid (1982).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores promedio del análisis químico para las especies de encino y para cada tipo de madera se presentan en los cuadros 1 al 10; los resultados corresponden a la comparación de la prueba de rangos múltiples de Duncan entre especies y tipo de madera.

Contenido de celulosa

La cantidad de celulosa en la madera de las especies estudiadas es alto (Cuadro 1), pero al compararlos con los trabajos de otros autores, éstos son menores (Honorato y Hernández, 1998; Villalvazo y Faix 1981), aunque son mayores a los registrados por Delgado (1980) observándose un comportamiento similar con los datos citados por Pettersen (1984), Fengel y Wegener (1989) y Koch (1985) para los encinos americanos.

Es probable que la variación en los rendimientos de celulosa responda al empleo de diferentes métodos analíticos. Al respecto, Kollmann y Côté (1968) mencionan que en los valores de celulosa obtenidos con el método de Cross-Bevan incluyen además de α -celulosa, pentosanos, lignina y cenizas, lo que indica que existe una sobre determinación; por el contrario, con el método de Kürschner-Hoffer se subdetermina el contenido de celulosa de la madera.

Cuadro 1. Contenido de celulosa (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. rugosa</i>	50.65 *B, a	52.57 A, b	52.94 A, b
<i>Q. oleoides</i>	51.67 A B, a	52.47 A, a	51.68 B, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	46.18 C, a	49.98 B, b	48.97 C, c
<i>Q. durifolia</i>	52.59 A, a	51.21 A B, b	52.82 A, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Contenido de pentosanos

El contenido de pentosanos obtenido en la madera de las especies estudiadas es bajo (Cuadro 2) y los valores quedan dentro de la variación observada por Honorato y Hernández (1998), Villalvazo y Faix (1981) y, comparado con los estudios de composición química de encinos en otros países, los rendimientos son

semejantes a los registrados por Pettersen (1984), Fengel y Wegener (1989), Kass *et al.* (1970) y Jones (1978). Las discrepancias observadas en este caso probablemente se deban a la falta de corrección por el contenido de anhídrido urónico en la madera, ya que también produce furfural bajo las condiciones del análisis de pentosanos (Kass *et al.*, 1970).

Cuadro 2. Contenido de pentosanos (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. rugosa</i>	20.41 A, a	19.88 A, b	20.24 A, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	20.61 A B, a	19.96 A B, b	20.07 A, a b
<i>Q. oleoides</i>	19.94 B, a	19.44 B, a b	19.08 B, b
<i>Q. durifolia</i>	19.23 C, a	19.26 B, a	19.30 B, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Kollmann y Côté (1968) señalan que sólo en algunos casos excepcionales se reconocen grandes diferencias entre la madera de albura y el duramen. Sin embargo, Fengel y Wegener (1989) mencionan para *Tectona grandis* L. f, valores de 14.7 y 7.7% para la madera de albura y duramen respectivamente. Browning e Isenberg (1952) citan para el encino blanco americano, cantidades mayores de pentosanos en la madera de albura. En los resultados obtenidos no se observa una tendencia clara entre los contenidos de pentosanos de la albura y el duramen, aunque sí existe una diferencia significativa entre encinos blancos y rojos.

Contenido de lignina

La cantidad de lignina en los encinos estudiados es moderada (Cuadro 3) y existen diferencias significativas entre especies y tipos de madera. Los datos coinciden con

los registrados en la literatura nacional (Honorato y Hernández, 1998; Villalvazo y Faix, 1981; Delgado, 1980; Fuentes, 1980); lo mismo ocurre con estudios realizados en otros países para encinos americanos (Fengel y Wegener, 1989; Pettersen, 1984; Koch, 1985).

Cuadro 3. Contenido de lignina (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. durifolia</i>	22.53 A, b	23.35 A, a	21.78 A, c
<i>Q. rugosa</i>	22.44 A B, a	21.65 B, b	20.40 B, c
<i>Q. coccolobifolia</i>	21.60 B, a	21.56 B, a	22.44 A, a
<i>Q. oleoides</i>	22.02 A B, a	20.79 B, b	22.37 A, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Extractivos solubles en agua caliente

La diferencia en la cantidad de extractos obtenidos en este estudio para la madera de albura y de duramen es significativa (Cuadro 4) y resultó mayor en el duramen. Entre *Q. oleoides* y *Q. durifolia* el contenido de extractos es significativamente diferente para cada uno de los tipos de madera; mientras que *Q. rugosa* y *Q. coccolobifolia* tienen un contenido de extractos similar en la albura y la mezcla. Se considera que los valores son altos y están dentro del rango observado por Sandoval (1979), Fuentes (1980), Pettersen (1984) y Fengel y Wegener (1989).

Extractivos en etanol-benceno

El contenido de extractos en etanol-benceno fue diferente, superior en el duramen y la mezcla, con respecto a la albura (Cuadro 5), pero sólo es significativo para los

Cuadro 4. Contenido de extractivos en agua caliente (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	5.95 B, b	7.55 B, a	7.09 B, a b
<i>Q. rugosa</i>	4.44 C, b	6.73 B, a	4.97 C, b
<i>Q. coccolobifolia</i>	4.35 C, a	4.88 C, a	4.62 C, a
<i>Q. durifolia</i>	7.14 A, c	9.07 A, a	8.75 A, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

encinos rojos. Entre especies para cada uno de los tipos de madera existe una diferencia significativa. Este comportamiento es similar al citado por otros autores (Pettersen, 1984; Fengel y Wegener, 1989; Honorato y Hernández, 1998). Sin embargo, los valores están por debajo del rendimiento promedio (4.5%) observado para este tipo de solventes, resaltando el caso de *Q. durifolia* que se ubicó fuera del rango mínimo registrado (2%).

Contenido de cenizas

La cantidad de cenizas de la madera analizada es moderada (Cuadro 6) y similar al rango registrado en diversos trabajos tanto para especies mexicanas, como de otros países (Farmer, 1967; Sandoval, 1979; Pettersen, 1984; Fengel y Wegener, 1989; Torelli y Čufar, 1995a); pero son menores a los resultados de Honorato y Hernández (1998). El contenido más alto correspondió a *Q. oleoides*, lo cual puede deberse a que el material de estudio fue recolectado en un clima semicálido y húmedo, donde es dominante (Zavala, 1995), y las especies que se desarrollan en ese tipo de condiciones climatológicas presentan grandes porcentajes de cenizas. Al respecto, Fengel y Wegener (1989) mencionan que en las maderas de zonas templadas es entre 0.1 y 1.0% pero frecuentemente en las maderas tropicales es mucho más alto (> 5%).

Cuadro 5. Contenido de extractivos en etanol-benceno (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	2.24 C, a	3.08 B, a	3.05 C, a
<i>Q. rugosa</i>	4.79 A, a	4.83 A, a	4.82 A, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	1.70 B, b	2.29 B, a	2.12 B, a
<i>Q. durifolia</i>	1.02 D, c	1.30 C, a	1.10 D, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Diferencias en el contenido de cenizas han sido citadas por Rutiaga *et al.* (2000), quienes determinaron un valor de 0.23 en el duramen y de 0.67 en la albura. Se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de cenizas

Cuadro 6. Contenido de cenizas (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	0.75 A, a	0.76 A, a	0.74 A, a
<i>Q. rugosa</i>	0.48 B, a	0.46 B, a	0.45 B, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	0.49 B, a	0.44 B, b	0.42 B, b
<i>Q. durifolia</i>	0.36 C, b	0.43 B, a	0.38 C, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

entre la madera de albura y de duramen de los encinos rojos de este estudio, *Q. coccolobifolia* y *Q. durifolia*, pero no en la madera de los encinos blancos.

Contenido de taninos

El contenido de taninos en cada especie (Cuadro 7) fue superior en el duramen y significativamente diferente de la albura y la mezcla. Este comportamiento se considera normal con base en los datos de Kollmann y Côté (1968); aunque mayores a los valores obtenidos por Sandoval (1979), pero inferiores a los valores mencionados por Honorato y Hernández (1998). Así mismo, los encinos blancos presentan una mayor cantidad de taninos, razón por la cual es recomendable su uso en el añejamiento de bebidas alcohólicas.

Cuadro 7. Contenido de taninos en la madera (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. rugosa</i>	0.62 B, c	1.46 C, a	1.10 B, b
<i>Q. coccolobifolia</i>	0.67 B, c	1.73 B, a	1.27 A, b
<i>Q. oleoides</i>	1.05 A, b	2.16 A, a	0.94 C, b
<i>Q. durifolia</i>	0.29 C, b	0.78 D, a	0.70 D, a

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

El contenido de taninos de la corteza se ubica en el rango inferior (Cuadro 8), registrado por Kollmann y Côté (1968) para la corteza de los encinos americanos.

El aprovechamiento comercial de taninos exige un mínimo de rendimiento que va de 7 a 10% (Mule y Gonzales, 1973; Rowe y Conner, 1979), por lo que para éstos

propósitos se descartarían todas las especies analizadas en el presente estudio. Sin embargo, dichas cifras son relativas debido a que las condiciones de mercado para la utilización de los taninos en la industria de la curtiduría requieren de estabilidad en las soluciones y en el color de la piel curtida.

Cuadro 8. Contenido de taninos en la corteza (%) en cuatro especies de encino.

Especie	Corteza
<i>Q. rugosa</i>	6.53 C
<i>Q. coccolobifolia</i>	5.48 B
<i>Q. oleoides</i>	6.21 B
<i>Q. durifolia</i>	7.18 A

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies.

Valor de pH

Los valores de pH presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tipos de madera y entre especies (cuadros 9 y 10). Se observó en la mayoría de los casos, que las muestras trabajadas con agua caliente tuvieron más acidez que las analizadas con agua fría. Para Choon y Roffael (1990) la disminución en el pH con el método de agua caliente, probablemente responda a la existencia de una mayor cantidad de extractivos en la solución, a la oxidación que se da en estas sustancias y/o a la degradación termolítica e hidrolítica de los componentes de la pared celular.

Los valores de pH obtenidos en agua fría para la madera de duramen también resultó mayor a lo citado por Torelli y Cufar (1995a) para *Quercus anglohondurensis* y *Q. skinneri*.

En el procesamiento de la madera de las especies estudiadas se podrían tener problemas en la adhesión y acabado de su madera, ya que se clasifican como ligeramente ácidas.

Cuadro 9. Valor de pH por el método de agitación (agua fría) en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	4.23 C, a	4.13 D, b	3.94 D, c
<i>Q. rugosa</i>	4.82 B, b	4.87 B, a	4.85 C, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	4.80 B, b	4.76 C, c	5.10 A, a
<i>Q. durifolia</i>	4.99 A, a	4.99 A, a	4.95 B, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Cuadro 10. Valor de pH por el método de agua caliente en cuatro especies de encino.

Especie	Tipo de madera		
	Albura	Duramen	Mezcla
<i>Q. oleoides</i>	3.66 D, b	3.71 D, a	3.51 D, c
<i>Q. rugosa</i>	4.57 C, c	4.61 B, b	4.84 C, a
<i>Q. coccolobifolia</i>	4.61 B, b	4.47 C, c	4.93 B, a
<i>Q. durifolia</i>	5.17 A, a	5.22 A, a	5.11 A, b

* Los valores con la misma letra denotan que no son significativamente diferentes ($p \leq 0.05$). Las letras mayúsculas comparan medias entre las especies y las letras minúsculas, los valores de los tipos de madera dentro de cada especie.

Análisis sumativo

Las diferencias con respecto al 100% de las especies estudiadas y las variaciones mostradas para los tipos de maderas en cada una de ellas (Figura 1), probablemente sean atribuibles a los métodos analíticos empleados que generan errores por la pérdida de celulosa durante los procesos de hidrólisis y en respuesta a la presencia de reacciones reversibles, por ejemplo en el caso de la determinación de extractivos en agua caliente; sobreposición de determinaciones en el análisis de los residuos de cenizas en lignina y celulosa; impurezas en los remanentes separados como la presencia de proteínas o polisacáridos degradados en la lignina, de pentosanos en la celulosa; y en la determinación de pentosanos la interferencia del anhidro urónico (Browning, 1967). Sin embargo, el análisis generó resultados comparables con los rangos mencionados por Fengel y Wegener (1989).

CONCLUSIONES

Los resultados promedio de las determinaciones de los compuestos químicos entre los taxa de encinos mostraron una diferencia significativa para la albura, el duramen y la mezcla de albura-duramen; así como entre estos tipos de madera en cada una de las especies.

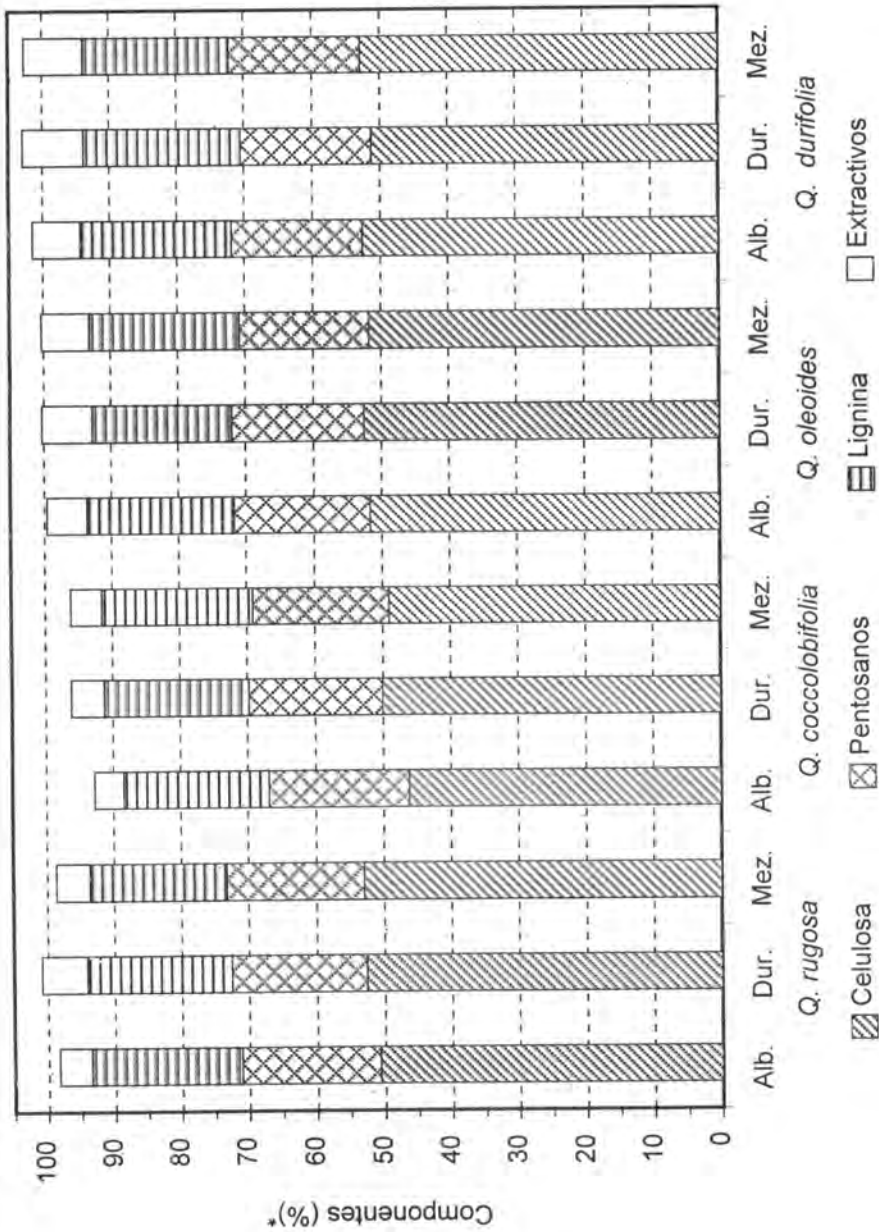
Con excepción del contenido de extractos de agua caliente, los taninos de la madera y corteza, en el resto de los casos se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los encinos blancos y rojos, los valores más elevados correspondieron a los encinos blancos. No obstante, el pH fue superior en los encinos rojos.

La madera de los encinos estudiados presenta contenidos promedio de celulosa alto, con una variación promedio que va de 46.18 a 52.94%, de pentosanos bajo con valores entre 19.08 y 20.61% y moderados (20.40 a 23.35%) para la lignina.

El contenido de extractos obtenido con etanol-benceno y con agua caliente fue mayor en el duramen que en la albura. Para el primer tipo de extractos, los valores presentaron diferencias significativas entre especies para albura, duramen y mezcla de albura-duramen; mientras que para el segundo tipo de extractos, las diferencias significativas fueron sólo entre *Quercus oleoides* y *Q. durifolia*.

La cantidad de cenizas es moderada con un valor mayor para todos los tipos de madera de *Quercus oleoides*. La cantidad de taninos fue mayor en la madera de duramen, pero menor al de la corteza.

Las especies estudiadas se clasifican como ligeramente ácidas con valores de pH entre 3.94 a 5.10 para el método de agitación y de 3.51 a 5.22 para el método de agua caliente.



* En base al peso seco de la madera.

Figura 1. Análisis sumativo de la composición química de la madera de cuatro especies de encino.

REFERENCIAS

- American Leather Chemist's Association (ALCA). 1964. Methods of sampling and analysis. Cincinnati, OH, USA. 28 p.
- Browning, B. L. 1967. Methods of wood chemistry. Volume II. John Wiley & Sons, Inc. New York, NY, USA. 882 p.
- Browning, B. L. and I. H. Isenberg. 1952. Analytical data and their significance. *In*: Wise, L. E. and E. C. Jahin (Eds.). Wood chemistry. Vol. 2. Second Edition. Reinhold Publishing Corporation. New York, NY, USA. pp. 1259-1277.
- Choon, K. K. and E. Roffael. 1990. The acidity of five hardwood species. *Holzforschung*. 44(1):53-58.
- Coffey, D. G., D. A. Bell and A. Henderson. 1995. Cellulose and cellulose derivatives. *In*: Stephen, A. M. (Ed.). Food polysaccharides and their applications. Marcel Dekker, Inc. New York, NY, USA. pp. 123-453.
- Delgado F., E. 1980. Estudio analítico de los carbohidratos de cuatro especies de encinos. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ciencias Químicas. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 96 p.
- Farmer, R. H. 1967. Chemistry in the utilization of wood. Pergamon Press Ltd., London, UK. 193 p.
- Fengel, D. and G. Wegener. 1989. Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Walter de Gruyter, Berlin, Germany. 613 p.
- Fuentes M., J. G. 1980. Estudio analítico de los carbohidratos de la madera de *Quercus resinosa*. Tesis de Técnico Químico. Escuela Politécnica. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 100 p.
- Haluk, J. P., F. Schoegel and M. Metche. 1991. Chemie de la couleur du bois. *Holzforschung* 45: 437-444.
- Hajny, G. J. 1981. Biological utilization of wood for production of chemicals and foodstuffs. USDA For. Serv. Res. Pap. FPL 385. Madison, WI, USA. 65 p.
- Hart, H. and W. E. Hillis. 1972. Inhibition of wood-rotting fungi by ellagitannins in the heartwood of *Quercus alba*. *Phytopathology* 62(6):620-626.
- Honorato S., J. A. y J. Hernández P. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques* 4(2):79-93.
- Honorato S., J. A. 2002. Química de la madera de encinos. *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, Pue. México. Libro Técnico No. 2. pp. 86-106.
- Immergut, E. H. 1975. Cellulose. *In*: Browning, B. L. (Ed.). The chemistry of wood. Robert E. Krieger Publishing Company, New York, NY, USA. pp. 103-190.
- Jones, J. K. N. 1978. Hemicellulose in hardwoods growing on southern pines sites. *Wood and Fiber Science*. 9(4):295-307.
- Jung, H., J. G. and W. Ni. 1998. Lignification of plant cell walls: impact of genetic manipulation. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 95:12742-12743.

- Kai, Y. 1991. Chemistry of extractives. *In*: Hon, D. N.-S. and N. Shiraishi (Eds.). Wood and cellulosic chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York, NY. USA. pp. 215-255.
- Kass, A., F. F. Wangaard and H. A. Schroeder. 1970. Chemical degradation of wood: the relationship between strength retention and pentosan content. *Wood and Fiber Science*. 2(1):31-39.
- Kirk, T. K. 1973. The chemistry and biochemistry of decay. *In*: Nicholas, D. D. (Ed.). Wood deterioration and its prevention by preservative treatments. Volume I. Degradation and protection of wood. Syracuse University Press, New York, NY. USA. pp. 149-181.
- Koch, P. 1985. Utilization of hardwoods growing on Southern pine sites. Vol. I. The Raw Material. Chapter 6. Chemical Constituents. USDA Agric. Handbook No. 605. Washington, DC. USA. pp. 364-463.
- Kollmann, F. P. and W. A. Côté, Jr. 1968. Principles of wood science and technology. I. Solid Wood. Springer-Verlag, Berlin, Germany. 592 p.
- Krilov, A. 1980. Toward the re-appraisal of the influence of basic wood characteristics on saw blade potential. *Holz als Roh-und Werkstoff* 38:145-149.
- Kubinsky, E. and G. Ifju. 1973. A simple and fast method of pH measurement for wood. *Forest Products Journal*. 23(2): 54-56.
- Lindberg, J.J., T. A. Kuusela and K. Levon, 1989. Specialty polymers from lignin. *In*: Glasser, W.G. and S. Sarkanen (Eds.). Lignin, properties and materials. American Chemical Society, Washington, DC. USA. pp. 190-204.
- Medved, S. and J. Resnik. 2004. Influence of the acidity and size of beech particles on the hardening of the urea-formaldehyde adhesive. *Acta Chim. Slov.* 51:353-360.
- Mosedale, J. R. 1995. Effects of oak wood on the maturation of alcoholic beverages with particular reference to whisky. *Forestry* 68(3):203-230.
- Mule, E. I. and E. V. Gonzales. 1973. Studies on the tannin extracts from the barks of six hardwood species. *Forpride Digest*. 2(3-4):35-39.
- Önnerud, H., L. Zhang, G. Gellerstedt and G. Henriksson. 2002. Polymerization of monolignols by redox shuttle-mediated enzymatic oxidation: A new model in lignin biosynthesis I. *Plant Cell*, 14:1953-1962.
- Ochoa R., H. G. y C. Ramírez S. 1995. Potencial de aplicación de extractos de cortezas de encinos (*Quercus*) en la industria de la curtiduría proveniente de residuos de aserraderos. *In*: Marroquín de la Fuente, J. S. (Ed.). III Seminario nacional sobre la utilización de encinos. Memorias, Tomo II. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, NL. México. pp. 698-714.
- Pettersen, R. C. 1984. The chemical composition of wood. *In*: Rowell, R. M. (Ed.). The chemistry of solid wood. American Chemical Society. Washington, DC. USA. pp. 57-126.

- Pizzi, A. 1994. Advanced wood adhesives technology. Marcel Dekker, Inc. New York, NY, USA. 289 p.
- Rodriguez, de C. L. 1978. Métodos de análisis empleados en la industria papelera. Centro de Investigaciones en Celulosa y Papel. Universidad Industrial de Santander. Santander, Colombia. 156 p.
- Rosid, M. 1982. Chemical analyses of some Indonesian wood species. Laporan BPHH/FPRI Report. Gunung Batudtu Bogor. Indonesia No. 159. 21-24.
- Rowe, J. W. and A. H. Conner. 1979. Extractives in eastern hardwoods a review. Gen. Tech. Re. FPL 18, For. Prod. Lab., For. Serv., USDA. Madison, WI. USA. 67 p.
- Rutiaga Q., J. G., C. Strobel, E. Windeisen y G. Wegener. 2000. Composición química de la madera de un encino. In: Memorias del III Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. CONACYT, Durango, Dgo. México. pp. 93-94.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Editorial LIMUSA. México, D. F. 432 p.
- Saka, S. 1991. Chemical composition and distribution. In: Hon, D. N. S. and N. Shiraishi (Eds.). Wood and cellulosic chemistry. Marcel Dekker, Inc., New York, NY, USA. pp. 59-88.
- Sandoval O., A. 1979. Estudio analítico de sustancias extraíbles de cuatro especies del género *Quercus*. Tesis de Licenciatura. Facultad de Química. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 77 p.
- Statistical Analysis System (SAS). 1999-2000. The SAS System for windows. SAS Institute Inc., Cary, NC. USA.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991a. Preparation of wood for chemical analysis. T 264 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991b. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. T 222 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991c. Solvent extractives of wood and pulp. T 204 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991d. Water solubility of wood and pulp. T 207 om-88. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991e. Ash in wood and pulp. T 211 om-85. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.
- Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI). 1991f. pH and electrical conductivity of hot water extracts of pulp, paper, and paperboard. T 252 om-90. TAPPI Test Methods. Vol. 1. Fibrous Materials and Pulp Testing. Atlanta, GA. USA. p/sn.

- Torelli, N. and K. Čufar. 1995a. Mexican tropical hardwoods. Comparative study of ash and silica content. *Holz als Roh-und Werkstoff*. 53:61-62.
- Torelli, N. and K. Čufar. 1995b. Mexican tropical hardwoods. pH-value. *Holz als Roh-und Werkstoff* 53:133-134.
- Turng, L.-S., M. Yuan, H. Kharbas, H. Winata and D. F. Caulfield. 2003. Applications of nanocomposites and woodfiber plastics for microcellular injection molding. *In: Forest Products Society (Ed.) Seventh International Conference on Woodfiber-Plastic Composites*. Madison, WI. USA. pp. 217-225.
- Villalvazo N., J. y O. Faix. 1981. Caracterización analítica de las ligninas de cuatro especies del género *Quercus* y sus posibilidades de aprovechamiento. IMCyP. Publicación Técnica No. 4. 7 p.
- Villalvazo N., J., O. Faix y K. A. Grellmann. 1981. Los encinos mexicanos como materia prima para la fabricación de celulosa y papel. IMCyP. Suplemento Técnico No. 1. 8 p.
- Walpole, R. E. y R. H. Myers. 1992. Probabilidad y estadística. Mc Graw-Hill / Interamericana de México, S. A. de C. V. México, D. F. 797 p.
- Wise, L. E y K. H. Lauer. 1986. Celulosa y hemicelulosas. *In: Lobby, C. E. (Ed.) Ciencia y Tecnología sobre pulpa y papel*. Tomo I: Pulpa. CECSA. México, D. F. pp. 79-102.
- Zavala C., F. 1995. Encinos y robles. Notas fitogeográficas. Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de Méx. 44 p.