



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA

DE LOS ENCINOS DE LA SIERRA DE ÁLVAREZ, SLP

PRESENTA:

GUADALUPE MARTHA BÁRCENAS PAZOS

DIRECTOR DE TESIS:

DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

ASESORES:

DRA. BERTHA IRENE JUÁREZ FLORES

DRA. LAURA YÁÑEZ ESPINOSA

ENERO DE 2011



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS, INGENIERÍA Y MEDICINA

PROGRAMA MULTIDISCIPLINARIO DE POSGRADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE

DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES

EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA

DE LOS ENCINOS DE LA SIERRA DE ÁLVAREZ, SLP

PRESENTA:

GUADALUPE MARTHA BÁRCENAS PAZOS

COMITÉ TUTELAR:

DIRECTOR: DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

ASESOR: DRA. BERTHA IRENE JUÁREZ FLORES

ASESOR: DRA. LAURA YÁÑEZ ESPINOSA

SINODALES:

PRESIDENTE: DR. JUAN ROGELIO AGUIRRE RIVERA

SECRETARIO: DRA. BERTHA IRENE JUÁREZ FLORES

VOCAL: DRA. LAURA YÁÑEZ ESPINOSA

VOCAL: DR. JOEL DAVID FLORES RIVAS

VOCAL: JOSÉ LUIS FLORES FLORES

Juan Rogelio Aguirre Rivera
Bertha Irene Juárez Flores
Laura Yáñez Espinosa
Juan Rogelio Aguirre Rivera
Bertha Irene Juárez Flores
Joel David Flores Rivas
José Luis Flores Flores

CRÉDITOS INSTITUCIONALES

PROYECTO REALIZADO EN:

**INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN DE ZONAS DESÉRTICAS
DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ**

**LABORATORIO DE INVESTIGACIÓN Y CERTIFICACIÓN DE PRODUCTOS
MADERABLES DEL INSTITUTO DE ECOLOGÍA, A.C.**

CON FINANCIAMIENTO DE:

FONDO DE APOYO A LA INVESTIGACIÓN (CO5-FAI-10-24-45)

DE LA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

FONDO SECTORIAL CONAFOR-CONACYT

2006-41801 PROYECTO “EVALUACIÓN DE LA MADERA DE ENCINO BLANCO

PARA LA MADURACIÓN DE BEBIDAS DESTILADAS”.

**EL PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS AMBIENTALES RECIBE APOYO
A TRAVÉS DEL PROGRAMA NACIONAL DE POSGRADOS DE CALIDAD (PNPC)**

RECONOCIMIENTOS

Al Dr. Juan Rogelio Aguirre Rivera, Director de tesis, un **MAESTRO**, en toda la extensión de la palabra.

A las Dras. Bertha Irene Juárez Flores y Laura Yáñez Espinosa, por su tiempo y dedicación.

A los Dres. Joel David Flores Rivas y José Luis Flores Flores, asesores externos, por su revisión y comentarios a este documento.

Al Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí en donde se llevó a cabo este trabajo.

A TODO su personal académico, técnico, administrativo y de apoyo.

En particular al Dr. Pedro Castillo Lara y a la MC Felicidad García, en el trabajo de identificación y recolecta del material de ensayo; la Quím. Socorro Jasso Espino por su apoyo en los análisis químicos; a los Sres. Jaime Silva Morín y Fernando Rodríguez González por su apoyo en la recolecta y preparación del material.

A la M.C. Rosalva Villa Ríos y a la Ing. Claudia Rivera Montoya, por participar en los ensayos químicos.

A la empresa Real de Magueyes, S.A. que proporcionó el mezcal utilizado, muestras de la madera de *Q. alba*, información y a sus directivos y personal que participaron como catadores.

Al Instituto de Ecología, A.C. por el apoyo académico y laboral para llevar a cabo este trabajo.

Al LINCE Laboratorio de pruebas de productos maderables, en donde se realizaron los ensayos físicos y mecánicos.

A los Ings. Víctor Rubén Ordóñez Candelaria y José Luis Martínez Castillo, mis COMPAÑEROS.

Al Sr. Alberto Jesús Mata por su apoyo en la preparación del material de ensayo.

Que este documento sea un motivo de satisfacción para:

Mi hija

Lupita y Moni

Mis hermanas

Mis hermanos y sus hijas, hijos, nieta y nieto

Mis compañeras y compañeros del INECOL

	Página
Índice del contenido	i
Índice de cuadros	iv
Índice de figuras	v
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. IMPORTANCIA DE LOS ENCINOS BLANCOS MEXICANOS	11
Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
Los encinos en México	15
Características de la madera de los encinos	20
Características anatómicas	21
Propiedades físicas	21
Propiedades mecánicas	22
Durabilidad y resistencia natural	22
Facilidad de labrado o trabajado	23
Composición química	24
Usos de la madera de encinos blancos	25
Conclusiones	26
Referencias	27
3. REVISIÓN SOBRE EL USO DE LA MADERA DE ENCINOS BLANCOS EN LA MADURACIÓN DE VINOS Y AGUARDIENTES	45
Resumen	45
Abstract	46
Introducción	47
La madera de encinos blancos en la tonelería	49
Maderas usadas en la maduración de vinos y bebidas destiladas	51
Procesos de preparación de la madera para tonelería	54
Características de la madera de encino blanco involucradas en la maduración de vinos y bebidas destiladas	58
Compuestos que participan en la maduración	61
Relación entre las propiedades de la madera y la maduración de bebidas alcohólicas	62
Conclusiones	64
Referencias	64

4. COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE DOS ESPECIES ARBUSTIVAS DE ENCINO BLANCO DE LA SIERRA DE ÁLVAREZ, SLP	75
Resumen	75
Abstract	76
Introducción	76
Objetivo	77
Materiales y métodos	77
Recolección de material	77
Preparación del material	80
Análisis químicos	80
Resultados	81
Discusión	83
Conclusiones	85
Referencias	85
5. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA DE OCHO ENCINOS ARBÓREOS DE LA SIERRA DE ÁLVAREZ, SLP	89
Resumen	89
Abstract	90
Introducción	91
Antecedentes	93
Materiales y métodos	94
Zona de estudio	94
Características del encinar arbóreo en el estado de San Luis Potosí	95
Descripción de las especies	96
<i>Quercus ariifolia</i> Trel.	97
<i>Quercus chihuahuensis</i> Trel.	98
<i>Quercus grisea</i> Liebm.	100
<i>Quercus laeta</i> Liebm.	101
<i>Quercus obtusata</i> Humb. & Bonpl.	103
<i>Quercus polymorpha</i> Schldl. & Cham.	104
<i>Quercus potosina</i> Trel.	106
<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	107
Recolección y preparación del material	109
Análisis químicos	111
Ensayos físicos	112
Resultados y discusión	114

Celulosa	114
Lignina	116
Cenizas	116
Extractos	117
Resistencia en flexión estática	119
Tenacidad	121
Densidad relativa	123
Conclusiones	125
Referencias	126
6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES	132

Índice de tablas

	Página
Capítulo 4	
Tabla 1. Contenido (%) de celulosa, lignina y cenizas de la madera de dos especies arbustivas de encino, <i>Quercus tinkhami</i> (Qt) y <i>Quercus sebifera</i> (Qs), de la sierra de Álvarez, SLP (n = 8).	83
Tabla 2. Extractos de la madera (%) de dos especies arbustivas de encino, <i>Quercus tinkhami</i> (Qt) y <i>Quercus sebifera</i> (Qs), de la sierra de Álvarez, SLP (n = 8).	83
Capítulo 5.	
Tabla 1. Datos de recolecta de las muestras de ocho especies arbóreas de encinos blancos de la sierra de Álvarez, SLP.	110
Tabla 2. Composición química de la madera de ocho especies arbóreas de encino blanco de la sierra de Álvarez, SLP (%) (n = 10)	115
Tabla 3. Extractos removidos con agua caliente de la madera de ocho especies arbóreas de encino blanco de la sierra de Álvarez, SLP (%) (n = 10)	118
Tabla 4. Flexión estática de la madera seca de ocho especies de encinos blancos arbóreas de la sierra de Álvarez, SLP.	120
Tabla 5. Tenacidad media (J/cm ³) (desviación estándar) de la madera seca de ocho especies de encinos arbóreas blancos de la sierra de Álvarez, SLP.	122
Tabla 6. Densidad relativa básica media (pa/vv) (desviación estándar) de la madera de ocho especies de encinos arbóreas blancos de la sierra de Álvarez, SLP.	124

Índice de figuras

	Página
Capítulo 3	
Fig. 1. Distribución de <i>Quercus robur</i> (roble pedunculado) y <i>Q. sessiliflora</i> (<i>Q. petraea</i> , encino sésil) en Francia (Adaptado de nadalie-usa.com).	49
Fig. 2. Distribución natural de <i>Quercus alba</i> (encino blanco) en Estados Unidos (Adaptado de nadalie-usa.com)	50
Fig. 3. Algunos sistemas de tostado de la cara interior de las barricas, primero para conformarlas y luego para ampliar y regular la intensidad del área tostada	53
Fig. 4. Resumen de las aportaciones de los compuestos de la madera y su tostado durante la maduración	58
Capítulo 4	
Fig. 1. Ubicación de la sierra de Álvarez, SLP	78
Fig. 2. <i>Quercus tinkhami</i> C.H: Mull.	79
Fig. 3. <i>Quercus sebifera</i> Trel.	80
Capítulo 5	
Fig. 1. Sitios de recolecta de ocho especies arbóreas de encino blanco en la sierra de Álvarez, SLP.	95
Fig. 2. <i>Quercus ariifolia</i> Née	97
Fig. 3. <i>Quercus chihuahuensis</i> Trel.	99
Fig. 4. <i>Quercus grisea</i> Liebm.	100
Fig. 5. <i>Quercus laeta</i> Liebm.	102
Fig. 6. <i>Quercus obtusata</i> Humb. & Bonpl.	103
Fig. 7. <i>Quercus polymorpha</i> Schlecht. & Cham.	105
Fig. 8. <i>Quercus potosina</i> Trel	106
Fig. 9. <i>Quercus resinosa</i> Liebm.	106

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Los encinos blancos o robles son un grupo de especies que pertenecen al género *Quercus*, de la familia *Fagaceae*. Se encuentran en casi todos los bosques templados y en algunas regiones tropicales y subtropicales húmedos del hemisferio norte, aunque también existen algunas especies en hábitats subhúmedos, en el sureste de Asia y nororiente de África (Zavala, 1990). En el género *Quercus*, sub género *Quercus* se han reconocido tres secciones: *Quercus* (encinos blancos), *Lobatea* (encinos rojos) y *Protobalanus* (encinos intermedios)(Valencia 2004).

Aunque para México se desconoce con exactitud el número de especies de este género, se estima que son alrededor de 160. De acuerdo con los datos más recientes, se ha estimado que el número especies de encinos, para todo el mundo, es entre 400 y 600 (Valencia, 2004); en México estarían representadas entre 32,2 y 40,2 % del total de especies del género. Los encinos, en nivel de género, son considerados como el segundo recurso forestal maderable más importante del país después del género *Pinus*.

La madera de los encinos arbóreos posee un valor muy alto como materia prima cuando es procesada adecuadamente; sin embargo, debido a su dureza, presencia menos homogénea y densa que la de los pinos y mayor variabilidad de características tecnológicas, su uso en México es menos común y elaborado, pues sólo destaca como combustible (carbón y leña). Los encinos arbustivos, por su parte, carecen de aprovechamiento. Entre los productos de más valor y de mayor tradición para la madera de encino está la fabricación de barricas y otros productos alternos (tablillas, astillas y partículas) para maduración de vinos y aguardientes; estos

materiales actualmente se importan de Estados Unidos, porque se carece de información técnica que respalde las posibilidades al respecto para la madera de los encinos que crecen en el país.

En la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, se han identificado 18 especies arbóreas y algunas especies arbustivas del género *Quercus*, con aprovechamiento muy limitado (García *et al.*, 1999). A la sección *Lobatae*, encinos rojos, pertenecen ocho de esas especies, las restantes 10 corresponden a la sección *Quercus* o encinos blancos; de estos, dos presentan hábito arbustivo. A la fecha no existe información técnica sobre las características de la madera de estas especies, aparte de su identidad taxonómica y distribución.

La distribución registrada para estas especies en el resto del país, además de en SLP, es para *Q. arifolia*, en Coah, NL y Zac; para *Q. chihuahuensis* en Ags, Chih, Dgo, Jal, Nay, NL, Sin, Son y Zac; para *Q. grisea* en Ags, Chih, Coah, Dgo, Gto, Jal, NL, Oax, Son, Ver y Zac; para *Q. laeta* en Ags, Coah, DF, Dgo, Gto, Hgo, Jal, Méx, Mich, Nay, NL, Oax, Sin y Zac; para *Q. obtusata* en DF, Dgo, Gro, Gto, Hgo, Jal, Méx, Mich, Mor, Nay, NL, Oax, Pue, Qro, Ver y Zac; para *Q. polymorpha* en Chis, Hgo, NL, Oax, Pue, Tams y Ver; para *Q. potosina* en Ags, Chih, Dgo, Gto, Jal y Zac; para *Q. resinosa* en Ags, Dgo, Gto, Jal, Mich, Nay y Zac; para *Q. sebifera* en Chis, Hgo, NL, Oax, Pue, Tams y Ver; y para *Q. tinkhamii* en NL (Valencia, 2004). Así la caracterización de estas especies con las posibles diferencias debidas al efecto de sitio de crecimiento, puede repercutir o aplicarse en numerosas regiones de gran parte del país.

En nivel mundial, la madera usada tradicionalmente en la maduración de vinos y bebidas destiladas, proviene del grupo de los encinos blancos o robles franceses

Quercus robur (encino pedunculado) y *Quercus sessilis* (sin. *Q. petraea*) y del encino blanco norteamericano, *Q. alba* (Stevenson, 1997). Pero los costos de estos materiales y la disponibilidad de otros recursos locales han motivado su evaluación para reemplazar los materiales franceses y norteamericanos.

Cadahía-Fernández y Fernández de Simón (2004) evaluaron al respecto la madera de cuatro especies de encinos blancos o robles españoles (*Q. robur*, *Q. petraea*, *Q. pyrenaica* y *Q. faginea*) en comparación con las francesas y la norteamericana para la añejamiento de vinos españoles; concluyeron con base en análisis químicos de la madera y evaluaciones sensoriales y químicas de los vinos que las tres primeras son igualmente útiles. Faria *et al.* (2003) presentan los resultados de la evaluación de la madera de ocho especies brasileñas de otras familias en la maduración del aguardiente tradicional de caña (cachaça), en comparación con la madera de encino importada de Europa, pero no identificada en nivel de especie. Estos autores realizaron también análisis químicos de la madera y de la cachaça, así como la evaluación sensorial de la bebida, y encontraron que la madera de tres de las especies estudiadas presenta características aceptables para ser utilizadas como sustituto del encino blanco o roble para la maduración de la cachaça.

Según el Anuario Estadístico Forestal 1999 (Anónimo, 2000), la extracción forestal maderable en ese año fue de 8,6 millones de metros cúbicos de madera en rollo, principalmente de seis estados: Durango, Chihuahua, Michoacán, Oaxaca, Jalisco y México. Los mayores volúmenes de dicha extracción correspondieron a la madera aserrada (73,4 %), para celulosa (14,8 %), para tableros (4,1 %) y el restante 7,7 % se distribuyó entre postes y combustibles (carbón y leña). Del total extraído,

87,4 % correspondió a madera de coníferas, principalmente de los géneros *Pinus* (82,5 %) y *Abies* (3,9 %); a la madera de encino correspondió 7,8 % (670 800 m³) y, con la madera de las llamadas “comunes” y “preciosas” tropicales, de otras latifoliadas y de otras coníferas se cubrió el restante 5,8 %.

En México, los principales usos de la madera de encino son como combustible, durmientes, postes y mangos de herramientas y aperos de labranza. Es también en los estados mencionados donde se aprovecha más para celulosa, madera aserrada, carbón, postes, durmientes y chapa (Anónimo, 2003). Los pocos productos de encino elaborados mediante labrado y aserrado (30 %), como son los recubrimientos (duela y parquet), y mangos y cabos para herramienta, presentan una alta calidad; esto debería tomarse en cuenta para promover más estos usos, en lugar de desperdiciar sus excelentes características tecnológicas, al destinar su madera a celulosa (54%), uso que tampoco justifica la transformación de árboles de gran talla (de la Paz *et al.*, 2000).

Para México, Carter (1953), Martínez (1981) y Newton (1993) han publicado trabajos sobre su ecología y distribución. De la Paz (2000) revisó lo publicado sobre descripciones anatómicas, propiedades físicas y mecánicas y formuló un análisis de la relación estructura-propiedades de la madera de 22 encinos mexicanos provenientes de seis estados. A la vez, Quintanar (2002) publicó una síntesis sobre: taxonomía, distribución, aprovechamiento y usos actuales, características anatómicas, propiedades físico-mecánicas y químicas, índices de calidad de fibra para pulpa y pulpa, durabilidad, aserrado, secado y maquinado para la madera de entre seis y 16 encinos blancos y entre 20 y 31 encinos rojos.

Si se consideran que en México se han registrado alrededor de 150 especies, es lamentable que en las áreas mejor estudiadas sólo se tiene información tecnológica para aproximadamente el 25 % de ellas. De las especies que crecen en el estado de SLP, sólo las de sierra de Álvarez han sido estudiadas taxonómica y ecológicamente (García, 1995; García *et al.*, 1999, Castillo, 2003), pero aún se carece de estudios sobre las características de su madera. De especies de encinos (*Quercus*), rojos y blancos, que se han registrado en México, sólo existe información publicada sobre la composición química para menos del 20 % de ellas. Específicamente para el grupo de encinos blancos de la sierra de Álvarez sólo existe información para *Q. obtusata* (Quintanar, 2002).

En otros países la madera de encinos rojos y blancos, por su textura, brillo y vetado, es apreciada y utilizada para la fabricación de muebles y de pisos con acabados de alta calidad; por su resistencia mecánica de media a alta se utiliza para elaborar durmientes, postes, cercas y madera aserrada, y por su resistencia alta al impacto se utiliza para mangos de herramientas y aperos de labranza. En particular, la madera de los encinos blancos ha sido utilizada tradicionalmente para la fabricación de barricas para maduración de vinos y aguardientes, debido principalmente a la presencia de tálides que tapan los huecos intercelulares, proporcionándole una cierta impermeabilidad (Miller, 1999). Esta característica se complementa con la presencia de eligataninos o taninos elágicos, los cuales proporcionan a los vinos y aguardientes sabores y texturas deseables (Hueso, 2002).

A la fecha, en México sólo existe un intento para el estudio de dos especies de encinos blancos para su utilización en la fabricación de barricas de pequeñas dimensiones para añejamiento de tequila (Montes *et al.*, 2004).

Debido al alto costo de las barricas nuevas se han desarrollado otras formas para utilizar la madera de encinos en la maduración de vinos y aguardientes más económicas y que no requieren de volúmenes de madera tan grandes. Estas formas de madera pueden ser desde insertos de madera nueva en las barricas en uso, así como tablillas, cubos, esferas, astillas y polvo de diferentes tamaños que se agregan a las barricas durante la maduración de las bebidas alcohólicas.

La evaluación de la madera de los encinos que crecen en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, a través de la determinación de sus componentes químicos y su resistencia mecánica proporcionará la información técnica que sustente su utilización en productos con valor agregado, lo que podría motivar a los dueños de los bosques para la revaloración de su recurso forestal y racionalizar su aprovechamiento.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar las características tecnológicas de la madera de diez especies de encinos blancos: dos arbustivos (*Q. thinkammi* y *Q. sebifera*), y ocho arbóreos (*Q. arifolia*, *Q. chihuahuensis*, *Q. grisea*, *Q. laeta*, *Q. obtusata*, *Q. polymorpha*, *Q. potosina*, *Q. resinosa*), de la sierra de Álvarez, SLP para fundamentar su uso en procesos industrializados de mayor rentabilidad.

JUSTIFICACIÓN

Los encinos en nivel de género crecen en todos los macizos montañosos del país, están ampliamente distribuidos en casi todas las entidades federativas. Las zonas boscosas cubren alrededor de 380 000 km², que representan aproximadamente el 21 % del territorio nacional (Anónimo, 2003). En San Luis

Potosí, el área forestal representa el 18 % de la superficie estatal. De acuerdo con el Inventario Nacional Forestal para el año 2003 (Anónimo, 2006 el volumen de madera encino en el país correspondió al 8,8 % del total extraído, esto es el segundo lugar después de la madera de pino (81,9 %)(Anónimo, 2006b).

La proposición de usos específicos para la madera de los encinos que crecen en México sobre una base experimental, representa una contribución significativa para la utilización de los resultados de esta investigación específicamente en un proceso industrial que es la maduración del mezcal.

Actualmente del volumen total de madera de encino que se aprovecha, en el nivel nacional, el mayor porcentaje se destina a usos que requieren muy poca transformación como para celulósicos, durmientes, postes y para carbón y leña. El costo de un barrica usada importada puede alcanzar más \$ 350,00 dólares si es de madera de Estados Unidos, si es de madera francesa el costo de incrementa cerca de tres veces, mientras que el costo de un kilogramo madera en partículas de importación cuesta alrededor de \$120,00 MN. El costo del mezcal reposado o añejado también se incrementa entre un 30 y un 50 %, cuando cumple con lo establecido por la NOM-SCFI-070-1974 (Anónimo, 2003), en lo referente a los periodos de maduración en contacto con madera de encino o roble blanco. Conforme es mayor el periodo de añejamiento el precio se incrementa.

Las diez especies de encinos blancos ensayadas, de las aproximadamente 80 especies de esta sección, que crecen en México, corresponden a más del 50 % de los encinos blancos que crecen en la sierra de Álvarez en el estado de San Luis Potosí. La distribución de las especies estudiadas ha sido registrada en 22 estados, siendo la más ampliamente distribuida *Q. obtusata* con registros para 16 estados y

Q. tinkhami, la de distribución más restringida es registrada únicamente para Nuevo León y San Luis Potosí (Valencia, 2004).

REFERENCIAS

- Anónimo. 2002. Anuario Estadístico de la Producción forestal 1999. SEMARNAT. Dirección General Forestal. Dirección de Desarrollo Forestal. México, D.F. 158 p.
- Anónimo. 2003. El medio ambiente en México. Informe 2002. Compendio de Estadísticas Ambientales. Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Capítulo 2. México, D.F. 31-82.
- Anónimo. 2006. Inventario Forestal Nacional 2003. Portal electrónico de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. Dirección General de Gestión Forestal. www.semarnat.gob.mx/portal. Consultado 20 de mayo de 2006.
- Anónimo. 2006b. Delegación estatal de la SEMARNAT en San Luis Potosí. Portal electrónico de la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales. www.semarnat.gob.mx/portal. Consultado 20 de mayo de 2006.
- Carter 1953. Los encinos de Baja California. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 56:39-42.
- Cadahia F., E.; B. Fernández de Simón. 2004. Utilización del roble español en el envejecimiento de vinos. Comparación con roble francés y americano. Monografía Especial No. 10. INIA. Madrid, España. 136 p.
- Castillo L., P. 2003. Encinares de sierra de Álvarez, SLP: caracterización y dinámica. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 122 p.

- de la Paz P.O., C. 2000a. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 266 p
- de la Paz P.O. C.P.; R. Dávalos S.; E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino. *Madera y Bosques*. 6(1):1-13.
- Faria, J.B.; H.M.A.B. Cardello; M. Boscolo; W.D. Isique; L. Odello; D.W. Franco. 2003. Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachacas aging. *Eur. Food. Res. Technol.* 218: 83-87.
- García S., F. 1995. Los encinos del valle de San Luis Potosí. II Seminario Nacional sobre utilización de los encinos. INIFAP/SARH Reporte científico número especial 15 Vol. I UANL. México pp: 895-930.
- García S., F.; J.R. Aguirre R.; J. Villanueva D.; J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica*. 10: 73-103.
- Hueso, J.A. 2002. Prontuario de la barrica. Documento Interno. www.tonelería.victoria.com.es. Consultado 19 de abril de 2005. 31 p.
- Martínez J., G. 1995. Aspectos ecológicos de una comunidad de *Quercus* en la región noreste de Hidalgo. III Seminario Nacional sobre utilización de los encinos. INIFAP/SARH Reporte científico número especial 15 Vol. I. UANL. Linares, Nuevo León. México. pp. 162-168.
- Miller, R.B. 1999. Characteristics and availability of commercially important woods. In: Anomynous. Wood handbook-Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Forest Products Laboratory, Forest Service, Department of Agriculture. 463 p.

- Montes R., E.; H.G. Ochoa R.; C.M. Rosales; H.M. García. 2004. Avance sobre las características de la madera de dos encinos blancos para la elaboración de barricas. Memorias V Congreso Tecnología de Productos Forestales. SMTPF. Pachuca, Hidalgo. México. 2 p.
- Nixon, K.C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. En: T.P. Ramamoorthy; R. Bye; A. Lot; J. Fa (Eds). Biological diversity in Mexico: origin and distribution. Oxford University Press. Nueva York. pp: 447-458.
- Quintanar O., J. (Editor). 2002. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico Núm. 2. INIFAP-CIRCE, C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla, México. 194 p.
- Stevenson, T. 1997. The new Sotheby's wine encyclopedia. Dorling Kindersley. Londres. 600 p.
- Rzedowski, J. 2006. Vegetación de México. 1a edición digital. Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 504 p.
- Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Bol. Soc. Bot. Méx. 75: 33-53.
- Zavala Z., F. 1990. Los encinos mexicanos: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo. 16(95): 43-51.

2. IMPORTANCIA DE LOS ENCINOS BLANCOS MEXICANOS

RESUMEN

En México se han identificado 81 especies de encinos blancos (género *Quercus*, subgénero *Quercus*, sección *Quercus*), 47 de las cuales son endémicas de este país. Por su distribución menos amplia y menor abundancia que la de los encinos rojos, la forma torcida de sus fustes y porque la transformación de su madera requiere prácticas diferentes a las de pino, su uso más común es como combustible, carbón o leña, mientras que en Estados Unidos, Inglaterra o España es una de las maderas con mayor valor comercial. Se encontraron publicaciones sobre su distribución, hábitos, estructuras de sus comunidades, repoblación natural, fenología, taxonomía, importancia ecológica, y contribución a la producción forestal maderable; se resumen algunas de sus propiedades anatómicas macroscópicas, físicas, mecánicas, de durabilidad, trabajado, así como sus usos maderables y no maderables. La madera de los encinos blancos es en general, dura a muy dura, con densidades de altas a muy altas (0,612 a 0,818), mayor casi siempre que la madera de los encinos blancos de otros países. Su resistencia mecánica se clasifica entre media y alta, más alta que la de la madera de los encinos rojos que crecen en México y que la de encinos de otros países. La madera de duramen posee una resistencia natural alta al ataque de agentes degradadores (hongos de pudrición). La abundante presencia de tálides que taponan los huecos intra e intercelulares la vuelven semi impermeable, cualidad importante para su uso en tonelería. Su contenido de componentes químicos difiere, en general, del de la madera de los encinos rojos que crecen en México y del de la madera de encinos blancos de otras

zonas geográficas, así en general, es mayor su contenido de lignina, menor el de celulosa, y significativamente más alto el de cenizas, taninos y extractos. Sus usos registrados se limitan a combustible y en productos con niveles de transformación elementales, como durmientes, postes, y tarimas. Con base en sus propiedades se han propuesto usos con mayores niveles de transformación, pero hasta la fecha, su uso sigue siendo muy limitado y en nivel regional.

Palabras clave: encinos blancos, composición química, distribución, propiedades físico-mecánicas, usos.

ABSTRACT

In Mexico 81 species of white oaks (genus *Quercus*, subgenus *Quercus*, section *Quercus*) have been identified 47 of which are endemic. White oak wood has been used traditionally as a fuel, coal or firewood, because whitw oaks usually have lower densities and restricted distribution than red oaks, their trunks have twisted shape, and they need different manufacturing processes than those used for pine wood, while in the United States, England or Spain white oak wood has an important commercial value. There are on studies about white oaks distribution, habits and forests structure, repoblation, phenology, and identification, as well as their ecological and economical importance. A summary about some macroscopic anatomical features, physical and mechanical properties, durability, workabilty, as well as their wood and non-wood uses is presented. White oak wood is, generally, hard to very hard; their basic density ranged from high to very high values (0,612 to 0,818), but usually is greater than that of the white oak wood from other countries. Regarding its mechanical strenght, white oak wood may be classified between

medium to high, but higher than that of the wood from red oaks trees growing in Mexico, and from other countries. Heartwood of Mexican white oaks has a high natural resistance to root decay. Due to the abundant presence of tyloses which seal their intra and inter wood cells voids the white oak wood became a semi waterproof, an important quality for use in cooperage. The chemical composition of white oak wood percentage is generally different to that of Mexican red oaks wood, as well as that of white oaks wood from other countries, resulting in general, higher in lignin, lower in cellulose, and significantly higher in ashes, tannins and extracts. The uses recorded are too limited, only as fuel or some products with a basic level of processing, as rail way sleepers, poles or parquet flooring. Based on their properties, some uses have been proposed, with technified industrial processes. However, to the present time, the use of white oak wood is still very limited and at regional level.

Key words: white oaks, chemical composition, distribution, physical and mechanical properties, uses, wood.

INTRODUCCIÓN

Los encinos (*Quercus* spp.) conforman el recurso forestal más abundante de las especies latifoliadas en México; están distribuidos en casi todas sus zonas montañosas, aunque crecen desde el nivel del mar hasta más de 3 000 msnm (Rzedowsky, 2006; Zavala, 1990). De las cinco secciones reconocidas para este género en el mundo, en este país existen principalmente especies de la sección *Lobatae* o encinos rojos, y de la sección *Quercus* o encinos blancos (Valencia 2004). El papel ecológico de los encinos en los bosques es muy importante como protectores y mejoradores de suelo, propiciando su desarrollo y rejuvenecimiento, y

permiten un control natural y eficiente de la erosión (Zavala, 1995). También contribuyen a evitar el abatimiento de los mantos acuíferos, la desecación y la colmatación de presas, y reducen el riesgo de tolvánicas. Representan también un atractivo en el paisaje, por ser hospederos de numerosas epífitas, como orquídeas, bromeliáceas, *Peperomia* spp. y cactus, que conforman importantes nichos ecológicos de la cadena trófica.

Ambos subgéneros, rojos y blancos, poseen características morfológicas distintivas; de igual manera, su madera presenta propiedades diferentes y por ello los usos de cada grupo son distintos (de la Paz, 2000; Miller, 1999; Quintanar, 2002). Así, la madera de los encinos blancos o encinos robles es dura, resistente y duradera, siempre ha sido muy apreciada para construcciones, puentes, implementos agrícolas, durmientes de ferrocarril, postes y para pisos y recubrimientos (de la Paz *et al.*, 2000; Ordoñez *et al.*, 1989; Quintanar 2002). También, por su resistencia al impacto, impermeabilidad y durabilidad natural ha sido utilizada tradicionalmente para tonelería, de donde se derivó su uso para madurar bebidas alcohólicas (Anónimo 2003; Hueso 2002; Miller, 1999; Stevensson, 1997). La madera de los encinos blancos es en general más pesada y su duramen más durable que la de los encinos rojos.

Actualmente en el país el uso más común para la madera de los encinos blancos es como combustible, carbón o leña, mientras que en Estados Unidos, Inglaterra o España es una de las maderas con mayor valor comercial (de la Paz *et al.*, 2000). Algunas de las limitantes para su uso es su distribución menos amplia que la de los encinos rojos, además que éstos llegan a formar masas uniformes y extensas. Los encinos blancos se desarrollan más frecuentemente en laderas

húmedas por lo que su corte y acarreo representa mayor esfuerzo, y su aserrío y transformación requiere prácticas especiales, como herramientas reforzadas y velocidades de alimentación más bajas (Flores *et al.*, 1998).

Según el Anuario Estadístico Forestal 1999 (Anónimo, 2002), la extracción forestal maderable la madera de encino fue menor que 10 % del total de la producción nacional, sin detallar si son blancos o rojos. En general, en México la madera de encino del país se comercializa como un sólo tipo, sin que se identifique y ni clasifique para su venta. En contraste, la madera de encino importada sí es clasificada, y la de encino blanco tiene mayor precio y demanda porque se destina para acabados de alta calidad. Específicamente como materia prima para la maduración de bebidas alcohólicas (barricas nuevas o usadas, duelas para reparar o fabricar barricas y madera en partículas), toda la madera de encino o roble blanco que se consume en el país se importa de Francia o de Estados Unidos.

En este trabajo se resume la información técnica y científica disponible sobre los encinos blancos que crecen en México, su distribución, usos y propiedades con el propósito de contribuir a su revaloración y motivar su utilización más amplia y rentable.

LOS ENCINOS EN MÉXICO

El territorio nacional tiene una superficie continental de 193,4 millones de hectáreas, de los cuales 32,8 corresponden a bosques y 30,7 a selvas (Anónimo, 2002). Dentro de estas zonas arboladas, los encinos, especies pertenecientes al género *Quercus* de la familia Fagaceae, constituyen el recurso forestal maderable más abundante después del género *Pinus*, principalmente en los sitios montañosos y

escarpados de clima templado, en donde alcanzan su máximo desarrollo (McVaugh, 1974; Rzedowski, 2006). Las montañas del centro y el este de México son consideradas centros de diversidad de este género (Nixon, 1993; Manos *et al.*, 1999). Más de la mitad de las especies que crecen en el país son dominantes o codominantes en sus comunidades respectivas (Rzedowski, 2006); las mayores concentraciones de especies de *Quercus* se encuentran en las zonas montañosas de las porciones central y sur del país, en donde se han identificado entre 100 y 125 especies (Nixon, 1993). Los encinos se distribuyen en los bosques de pino-encino en todas sus variantes, en los de *Quercus-Abies*, en los bosques mésofilos de montaña, en algunos bosques tropicales y aun en sabanas y zacatales subhúmedos (Rzedowski, 2006).

En Estados Unidos, se han registrado únicamente 11 especies de la sección Lobatae, encinos rojos; y de encinos blancos (sección *Quercus*) se han identificado nueve especies (Miller, 1999). En Francia, existen ocho especies, mientras que en España reconocen alrededor de ocho especies (Anónimo, s.f.). Valencia (2204) consigna 38 especies sólo para el estado de San Luis Potosí.

Los encinos crecen en las regiones montañosas del país, en diferentes condiciones de relieve, altitud, orientación, litología superficial, suelo y clima (Nixon, 1993; Reyes y Gama, 1995; Rzedowski, 2006; Zavala, 1998; Encina y Villareal, 2003; Álvarez-Moctezuma *et al.*, 1999). Crecen en altitudes que van desde el nivel del mar hasta los 3 500 msnm, aunque alcanzan su mejor desarrollo entre los 1 000 msnm y los 3 000 msnm (Zavala, 1995; Valencia, 2004); sin embargo, también se encuentran representados de climas cálidos, como *Q. oleoides* y *Q. sapoteifolia* que crecen en el nivel del mar (Pennigton y Sarukhán, 1968; Rzedowski, 2006), o los enormes *Q.*

skinneri y *Q. corrugata* subdominantes de los estratos arbóreo sobresaliente y arbóreo alto, respectivamente, de la selva alta perennifolia (Durán, 1999). Fisonómica y estructuralmente se distinguen dos tipos de encinares: los matorrales de *Quercus*, conocidos como chaparrales o encinares arbustivos, y los encinares arbóreos (Rzedowski, 2006). Los encinos propios de climas xéricos presentan hábito arbustivo y forman matorrales densos con individuos de 30 cm a 300 cm (Rzedowski, 2006; Encina y Villareal, 2003); en cambio los de regiones méxicas, se desarrollan en forma arbórea, originando comunidades boscosas (Encina y Villareal, 2003), con especímenes cuyas alturas varían desde 15 hasta 30 o 40 m, con diámetros normalmente entre 30 y 60 cm y, ocasionalmente, hasta 100 cm (Rzedowski, 2006).

Los encinos rojos (Sección *Lobatae*) de México, se distribuyen principalmente en climas templados sub tropicales y bosques tropicales (Nixon, 1993), y son escasos en zonas secas (Zavala, 1998). En cambio los encinos blancos son los dominantes en las zonas secas (Zavala, 1998) y tienen una distribución más amplia, desde macisos de bosque húmedo hasta formas arbustivas conformando matorrales bajos en las pendientes de clima seco (Nixon, 1993).

El número de especies del género *Quercus* en nivel mundial aún no está totalmente establecido (Valencia, 2004), y lo mismo sucede con el correspondiente a las que crecen naturalmente en México. Para el país se han estimado desde 100 a 125 (Zavala, 1998), 135 (Nixon, 1993), entre entre 150 y 200 (Rzedowski, 2006). Después de depurar sinonimias y registros dobles, Valencia (2004) presenta una lista con 161 especies, lo cual es posiblemente la estimación más aproximada.

De los dos subgéneros de *Quercus* (*Cyclobalanopsis* y *Quercus*), en México sólo está representado el subgénero *Quercus* con sus tres secciones: *Quercus* o

encinos blancos con 81 especies; *Lobatae* o encinos rojos con 76 especies y *Protobalanus* o encinos intermedios con cuatro de las cinco especies existentes (Valencia, 2004). De las 161 especies registradas, 109 (67,7 %) son endémicas de México. A la sección *Quercus* o encinos blancos corresponden 47 de las especies endémicas, mientras que de la sección *Lobatae* existen 61 endémicas, y de la sección *Protobalanus* sólo se ha identificado una especie endémica (Valencia, 2004).

De manera más detallada se ha estudiado su distribución en Aguascalientes (de la Cerda, 1989), Baja California (Carter, 1953; Rodríguez y Gutiérrez, 1995), Coahuila (Speltemberg y Bacon, 1996; Encina y Villareal, 2003), Durango (González y González, 1995), Guanajuato (Becerra *et al.*, 2001), Guerrero (Valencia, 1989), Hidalgo (Zavala, 1985), Jalisco (González-Villareal, 1986; Villareal, 1985), Estado de México (Romero, 1993), Michoacán (Bello y Lavat, 1987), Puebla (Vázquez, 1992), San Luis Potosí (Rzedowski, 1965), y Tlaxcala (Santacruz, 1996).

Los encinares mexicanos han sido estudiados florística y estructuralmente, o su repoblación natural y dinámica en bosques puros o asociados con especies de otros géneros (*Pinus*) u otras especies, en diversas localidades, como La Barranca, Pinal de Amoles (Domínguez *et al.*, 2004) y el bosque mesófilo de Landa de Matamoros (Cartujano *et al.*, 2002) en Querétaro; en el valle de México (Nieto y Zamora, 1985; Gutiérrez *et al.*, 1995); en Huixquilucan (Sánchez y González, 1995) y la Sierra Nevada (Sánchez y López, 2003) en el Estado de México; en el SE de Puebla (García y González, 1990); en el SO (González 1995) y NO de Hidalgo (Martínez, 1995); en los bosques de La Primavera (Villavicencio *et al.*, 1995), Sierra de Quila (Villavicencio *et al.*, 2002) y sierra de Manantlán (Figueroa *et al.*, 2000) de Jalisco; y en la sierra de Santa Rosa, Guanajuato (Martínez y Téllez-Valdez, 2004). Para la

región sur-sureste del país existen estudios en Ixtlán de Juárez (Yáñez y Valdéz, 1995) y en un bosque mesófilo al oriente de la Sierra Madre del Sur (Mejía *et al.*, 2004), en Oaxaca; en el municipio Eduardo Neri (Jiménez *et al.*, 2003) y en el bosque mesófilo de montaña (Catalán *et al.*, 2003) del estado de Guerrero; en Los Altos de Chiapas (Álvarez- Moctezuma *et al.*, 1999; Zamora y Pérez, 1995); y en los límites entre Chiapas y Tabasco (López, 1980).

En la zona norte y noreste del país se han estudiado en el valle de San Luis Potosí (García, 1995); en la sierra de Álvarez (García *et al.*, 1999; Ramírez, 2000; Castillo, 2003; Castillo *et al.*, 2008; García y Aguirre, inéditos a y b) del estado de San Luis Potosí; en un bosque de *Pinus-Quercus* de la Sierra Madre Oriental (Jiménez *et al.*, 1999); en el NO del estado (Marroquín, 1985) y en el municipio de Santiago (Valdez y Aguilar, 1983) de Nuevo León; y en el bosque mesófilo del noreste de la república (Valdez *et al.*, 2003; Muller-Using, 1994).

En nivel de especie se han realizado estudios diversos sobre distribución, repoblación, fenología, e identificaciones más exactas, corrigiendo registros erróneos o eliminando sinonimias (Aguilar y Romero, 1995; Madrigal, 1990; Mendoza, 2002; Peña y Bonfil, 2003; Ramírez y Rodríguez, 2004; Reyes, 2006; Rodríguez, 1995; Romero *et al.*, 2000; Valencia y Cartujano, 2002).

Los bosques de encino constituyen también hábitats naturales para numerosas especies de plantas y animales que se refugian y crecen a veces exclusivamente bajo su abrigo (Zavala, 1990; Castillo, 2003).

Según el Anuario Estadístico Forestal 1999 (Anónimo, 2002), la extracción forestal maderable total en ese año fue de 8,8 millones de metros cúbicos de madera en rollo; del total extraído, a la madera de encino correspondió 7,8 % (662 509 m³).

Los estados de la federación con mayor volumen de producción de madera de encino, incluyendo blancos y rojos, fueron Chihuahua, Durango, Michoacán, Jalisco, Puebla, Guanajuato, Hidalgo y Sonora. Los usos a los que se dedican los mayores volúmenes de madera de encinos, rojos y blancos, en orden de importancia son celulosa, madera aserrada, carbón, leña, durmientes y postes, pilotes y morillos (Anónimo, 2002). Los cabos o mangos de encino para herramientas manuales son muy apreciados en México.

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE LOS ENCINOS

En ciertos países la madera de encinos es muy apreciada como materia prima de alta calidad; por ello se aprovecha racional y técnicamente y se comercializa ampliamente, particularmente la madera de encinos blancos. Entre sus cualidades se destaca su textura, brillo y veteado, su resistencia mecánica, su resistencia alta al impacto, su durabilidad natural contra agentes biodegradadores, y su afinidad con los acabados.

Un uso particular de la madera de los encinos blancos ha sido la fabricación de barricas para madurar y añejar vinos y aguardientes, debido principalmente a la presencia de tálidos que ocluyen los huecos intercelulares, proporcionándole cierta impermeabilidad (Miller, 1999). Esta tilidosis característica se complementa con la presencia de madera carbonizada y de celulosa y hemicelulosa hidrolizadas, resultantes del calentamiento de las duelas durante la fabricación de las barricas y con los eligataninos o taninos elágicos, pues estos compuestos proporcionan a los vinos y aguardientes sabores y texturas deseables (Hueso, 2002).

Características anatómicas.

La madera de los encinos blancos puede presentar diferencias de color entre la albura y el duramen; la madera de albura puede ser de color castaño claro a muy pálido o blanco, mientras que el duramen puede ser de color amarillo (de la Paz, 2000); en algunos encinos de San Luis Potosí como *Quercus chihuahuensis*, el duramen puede llegar a ser casi negro. La madera de los encinos blancos carece de olor característico, y su sabor puede ser amargo, muy amargo, ácido o astringente; generalmente tiene un lustre medio, aunque también puede ser bajo, medio y pocas veces alto; la madera de casi todas las especies de encinos tiene hilo recto y textura gruesa, con un vetado pronunciado; su porosidad suele ser, en la mayoría, difusa, pero también se presenta en arreglos de difusa a circular, o semicircular; a simple vista se aprecian abundantes radios uniseriados ($> 10/\text{mm}$), con longitud media de 5 mm a 10 mm; los radios multiseriados también son abundantes, de grandes a muy grandes ($> 50 \text{ mm}$) (Bocanegra y Tejeda, 1995; Bucio, 1985; Corral, 1981; Cruz de León, 1995; de la Paz, 1974, 1976, 1982, y 1985; de la Paz *et al.*, 1998 y 2006; García y González, 1990; Honorato, 1998; Ortega *et al.*, 1988; Revuelta y Zamora, 1990; Tejeda, 1994).

Propiedades físicas.

La madera de los encinos blancos mexicanos presenta una densidad relativa entre 0,612 y 0,818 (Bárcenas y Dávalos, 2001; de la Paz 2000; Honorato, 2002a), la cual es clasificada como alta a muy alta. Comparada con la densidad relativa de los encinos de otras latitudes (Simpson y TenWolde, 1999), la de los encinos blancos mexicanos es siempre mayor.

Propiedades mecánicas.

De acuerdo con la clasificación de Dávalos y Bárcenas (1998 y 1999) y Dávalos *et al.* (2000) de la resistencia mecánica para maderas mexicanas en condiciones “verde” y seca, las propiedades mecánicas en flexión de la madera de los encinos blancos son altas a muy altas; a su vez las propiedades mecánicas en la dirección de la fibra, con respecto a compresión, cortante y dureza, son altas a muy altas, medias a altas, y altas a muy altas, respectivamente, mientras que en dirección perpendicular a la fibra, su resistencia a la compresión y su dureza también son medias a altas, y altas o muy altas (Bárcenas y Ordóñez, 2008; Becerra, 1977; de la Paz, 2000; de la Paz y Dávalos, 1995; Fuentes, 1990; Fuentes y Honorato, 1997; Hernández y Castañeda, 2000; Machuca *et al.*, 1999; Nájera *et al.*, 2005; Negrete, 1970; Ordóñez *et al.*, 1989). La resistencia al impacto o tenacidad es una de las propiedades mecánicas de la madera de encino más característica, ya que generalmente es muy alta, lo que la hace ideal para aquellos usos en los que se somete a acciones de impacto, como bates de béisbol, pisos, mangos de herramientas, tacones y suelas para zapatos y duelas para tonelería (Ordóñez *et al.*, 1989; Bárcenas y Ordóñez, 2008, Bárcenas *et al.*, 2002).

Durabilidad y resistencia natural.

La gran cantidad de extractos que contiene el duramen de la madera de los encinos blancos, así como la abundancia de tálides, le confieren una resistencia de alta a muy alta al ataque de los agentes degradadores, sobre todo a los de la pudrición (de la Paz y Salinas-Quinard, 1977; Herrera *et al.*, 1980; Vázquez y Honorato, 2000).

Facilidad de labrado o trabajado.

Otra de las cualidades distintiva de la madera de encino es su bondad de resultados al someterse a los procesos, manuales o con maquinaria de cepillar, lijar, torneear, moldurar y escoplear. En general, la calidad de las superficies obtenidas va de buena a excelente, lo que significa un número escaso a nulo de defectos que se notan al final de cada proceso por unidad de área (Becerra, 1977; Flores *et al.*, 2001; Flores y Fuentes, 1998; Herrera, 1981; Martínez *et al.*, inédito). Sin embargo, en México se ha considerado difícil comenzar el proceso de aserrado inicial, debido promordialmente a que se usan equipos y métodos propios del aserrío de la madera de pino, cuando se debieran usar sierras con dientes reforzados y con diferente arquitectura, velocidades de alimentación más bajas y sierras más anchas (Flores *et al.*, 1998).

Las propiedades de la madera resultan principalmente de su estructura celular (histología); en el caso de los encinos, rojos y blancos, los caracteres que mayor influencia tienen en sus propiedades físicas y mecánicas son la abundancia y dimensiones de los radios, aunque también son importantes el volumen y dimensiones de las fibras y en menor escala, de los vasos (Guerrero *et al.*, 1992; de la Paz *et al.*, 1999; de la Paz y Dávalos, 1995; de la Paz *et al.*, 2000; Bárcenas, 2002; de la Paz *et al.*, 2005).

Para explorar tendencias en las propiedades de los encinos mexicanos, blancos y rojos, de la Paz (2000) revisó los estudios publicados sobre características anatómicas y propiedades físicas y mecánicas de la madera de algunos encinos mexicanos e incorporó otros trabajos realizados por ella misma, con lo cual buscó relacionar la estructura anatómica y las propiedades de la madera de 22 encinos

mexicanos, de acuerdo con su tipo (rojos y blancos) y procedencia de seis estados; la autora encontró mayores valores de correlación con la procedencia geográfica que con su tipo. Quintanar (2002) presentó una síntesis de los trabajos sobre taxonomía, distribución, aprovechamiento y usos actuales, características anatómicas, propiedades físico-mecánicas, composición química, índices de calidad de fibra para pulpa y de pulpa, durabilidad, aserrío, secado y labrado con máquinas para la madera de entre seis y 16 encinos blancos, y entre 20 y 31 encinos rojos.

Composición química.

La composición química de la madera de encinos mexicanos de la sección *Quercus*, en general, presenta un mayor contenido de celulosa con respecto a especies congéneres que crecen en otras latitudes (Honorato, 2002b). Los porcentajes de celulosa de la madera de encinos blancos mexicanos son de 51,94 % a 56,43 %; de lignina de 19,84 % a 22,57 %, de hemicelulosas alrededor de 22,0 %; de cenizas de 0,46 % a 1,00 %, de extractos obtenidos con disolventes orgánicos de 2,79 % a 7,21 %; y de extractos con agua caliente de 4,99 % a 7,76 % (Bárceñas, 2002; Bautista y Honorato, 2005; Bravo y Fuentes, 1996; Delgado, 1980; Fuentes, 1980; Honorato y Hernández, 1998; Rutiaga *et al.*, 2000; Sandoval, 1979; Villalvazo y Faix, 1981).

El contenido elevado de taninos en los encinos, como género, ha sido apreciado siempre para curtumbre. Para los encinos blancos mexicanos, el contenido de taninos en la corteza es, en general, mayor (6,53 % a 57,04%) que en la madera (0,94 % a 33,44 %) (Bautista y Honorato, 2005; Honorato y Hernández, 1999; Sandoval, 1979).

USOS DE LA MADERA DE ENCINOS BLANCOS

El uso de la madera de encino en México, aunque rudimentario, es amplio y apreciado tanto en nivel comercial como localmente; además de la madera, algunos grupos étnicos, de manera regional, aprovechan también las hojas, bellotas, corteza y agallas de los encinos blancos para uso medicinal, alimentario y forrajero, principalmente (García, 1976; Hernández *et al.*, 1991; López, 1988; Luna *et al.*, 2003; Pulido, 1985). La madera se usa tradicionalmente como postes en construcciones rurales, mangos de herramientas, muebles rústicos y aperos agrícolas (Becerra, 1977; de la Paz, 2000; Ortega *et al.*, 1988; Zavala, 1998). Su uso como forraje, sin embargo se ve limitado en algunas especies debido a su contenido alto de taninos en el follaje o en las bellotas (Avendaño y Flores, 1999).

Con base en sus características tecnológicas, también se han propuesto usos que requieren procesos más industrializados, y la separación de la madera de los encinos blancos de la de los rojos, para optimizar su aprovechamiento en la elaboración de parqué, duelas para entarimados y recubrimientos, muebles, elementos para construcción como pilotes y partes de armaduras, cajas para empaques, partes de camiones, duelas empaques, durmientes y harinas para mejorar suelos agrícolas (Hernández *et al.*, 1991; Ordóñez *et al.*, 1989; Sánchez, 2000). En la industria del papel se ha propuesto utilizarla en la fabricación de productos de baja resistencia como el papel *kraft*, debido a que sus fibras son cortas; sin embargo, se recomienda mezclarla con madera de otras especies con fibras de mayor longitud (Luna, 1983; Montes y Grellman, 1982).

La madera de los encinos tiene buen potencial como combustible, por su alto poder calorífico y lenta combustibilidad, por ello se ha analizado, la forma de

optimizar su uso e incrementar su rendimiento y calidad para aprovecharla de manera menos artesanal (Sánchez, 2000). La calidad de los árboles de encinos blancos en el estado de Durango y su abundancia, propició que se propusiera su uso para la fabricación de barricas para madurar tequila, seleccionado aquellos que poseían una porosidad difusa, como se presume que la tienen los robles franceses (Montes *et al.*, 2004).

CONCLUSIONES

Los encinos blancos tienen una amplia distribución en las zonas montañosas de México, aunque escasamente presentan las masas homogéneas y calidad de fustes de los encinos rojos, pues las tallas de los individuos de una misma especie varían fuertemente de acuerdo con las condiciones fisiográficas en donde crecen.

La madera de encinos blancos posee características deseables y alta calidad en cuanto a apariencia, pero además es muy resistente mecánicamente y durable naturalmente, aunque presenta susceptibilidad a sufrir grietas y distorsiones severas cuando se seca inadecuadamente.

La información tecnológica ya generada en nivel nacional sobre este grupo de encinos, representa una base para la utilización de su madera de maneras más redituables; además el valor añadido en los diferentes productos generados puede motivar el manejo de los encinares para incrementar el volumen de madera en rollo aprovechable, sus tallas y la calidad de la madera, además de inducir el establecimiento de sistemas de aprovechamiento para usos específicos.

Como ya existe la demanda actualmente cubierta mediante importaciones, ya se podrían en México aprovechar los árboles de mayores dimensiones y fustes

rectos para madera aserrada destinada a fabricar muebles de alta calidad o recubrimientos, y los árboles de tallas menores o con fustes torcidos para otros fines como partículas para la maduración de vinos o destilados, materiales y productos actualmente importados en cantidades crecientes.

REFERENCIAS

- Aguilar E., M.L. S. Romero R. 1995. Estudio taxonómico de cuatro especies de encino (*Quercus*) descritas por Warburg. Acta Botánica Mexicana. 31:63-71.
- Álvarez-Moctezuma, J.G.; S. Ochoa-Gaona; B.H.J. de Jong; M.I. Soto-Pinto. 1999. Hábitat y distribución de cinco especies de *Quercus* (Fagaceae) en la Meseta Central de Chiapas, México. Revista de Biología Tropical. 47(3): pp. 351-358.
- Anónimo. 2002. Anuario estadístico de la eroducción forestal 1999. SEMARNAT. Dirección General Forestal. Dirección de Desarrollo Forestal. México, D.F. 158 p.
- Anónimo. 2003. Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994. Bebidas alcohólicas- Mezcal-Especificaciones. Publicada en DOF el 12 de junio de 1997. 5 p.
- Anónimo. s.f. Composition of oak. White Paper World Cooperage. 8 p.
- Avendaño R., S.; J.S. Flores G. 1999. Registro de plantas tóxicas para ganado en el estado de Veracruz. Veterinaria Mexicana. 30(1):79-94.
- Bárceñas P., G.M. 2002. Efecto del contenido de lignina, extractivos, radios y densidad relativa en las contracciones de cinco especies de madera. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillos, Edo. de México. México. 65 p.

- Bárcenas P., G.M.; R. Dávalos S. 2001. Shrinking values for 106 Mexican woods. *Journal of Tropical Forest Products*. 7(2):126-135.
- Bárcenas P., G.M.; V.R. Ordóñez C. 2008. Calidad de la madera de los árboles de sombra. *En: R.H. Manson; V. Hernández-Ortíz; S. Gallina; K. Melhtreter (Eds.). Agroecosistemas cafetaleros de Veracruz. Biodiversidad, manejo y conservación. México. pp. 235-246.*
- Bautista H., R.; J.A. Honorato S. 2005. Composición química de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. *Ciencia Forestal*. 30(98):25-50.
- Becerra M., J. 1977. Usos probables de la madera de dos encinos del estado de Durango. *Ciencia Forestal*. 2(5):63-70.
- Becerra Z., J.; J. Rzedowski R.; S.D. Koch; F. Zavala Ch. 2001. El género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Guanajuato, México. XV Congreso Mexicano de Botánica. Resumen. Documento electrónico disponible en www.socbot.org.mx/Congresos/XV/resume/re445.htm, consultado el 18 de abril de 2005.
- Bello G., M.A.; J.N. Lavat. 1987. Los encinos (*Quercus*) del estado de Michoacán, México. Cuadernos de Estudios Michoacanos I. INIFAP, SARH. México. 93 p.
- Bocanegra O., S.; T.F. Tejeda V. 1995. Estructura e identificación de la madera de encinos (*Quercus*) de Morelia. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. II. pp. 442-460.
- Bucio S., H.Y. 1985. Características anatómicas de la madera de cinco encinos de Michoacán. Boletín Técnico No. 109. INIF, SARH. México, D.F. México. 50 p.
- Carter, A. 1953. Los encinos de Baja California. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 56:39-42.

- Cartujano, S.; S. Zamudio; O. Alcántara; I. Luna. 2002. El bosque mesófilo de montaña en el municipio de Landa de Matamoros, Querétaro, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 70:13-43.
- Castillo L., P. 2003. Encinares de sierra de Álvarez, S.L.P.: caracterización y dinámica. Tesis de maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coah. 122 p.
- Castillo L., P.; J.A. Flores C.; J.R. Aguirre R.; R.I. Yeaton H. 2008. Dinámica del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. Madera y Bosques. 14(1):21-36.
- Catalán H., C.; L. López M.; T. Terrazas S. 2003. Estructura, composición y diversidad de especies leñosas de un bosque mesófilo de montaña de Guerrero, México. Anales del Instituto de Biología. 74(2):209-230.
- Corral L., G. 1981. Anatomía de la madera de siete especies del género *Quercus*. Boletín Técnico No. 72. INIF, SARH. México, D.F. 55 p.
- Cruz de León, J. 1995. Características anatómicas de cuatro especies de encino del sur de Nuevo León. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. II. pp. 381-393.
- Dávalos S., R.; G.M. Bárcenas P. 1998. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición "verde". Madera y Bosques. 4(1):65-70.
- Dávalos S., R.; G.M. Bárcenas P. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. Madera y Bosques. 5(1): 61-69.

- Dávalos S., R.; R.P. Zárate M.; C.de la Paz P.O. 2000. Tablas de clasificación de algunas propiedades mecánicas de maderas mexicanas en condición "verde". *Madera y Bosques*. 7(1):71-78.
- de la Cerda L., M. 1989. Encinos de Aguascalientes. Universidad Autónoma de Aguascalientes. Aguascalientes, Ags. México. 84 p.
- de la Paz P.O., C. 1974. Anatomía de la madera de cinco especies de encinos de Durango. *Boletín Técnico No. 43*. INIF, SARH. México. 35 p.
- de la Paz P.O., C. 1976. Características anatómicas de cinco encinos de México. *Boletín Técnico No. 46*. INIF, SARH. México, D.F. 43 p.
- de la Paz P.O., C. 1982. Estructura anatómica de cinco especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico No. 88*. INIF, SARH. México, D.F. 63 p.
- de la Paz P.O., C. 1985. Características anatómicas de siete especies del género *Quercus*. *Boletín Técnico No. 123*. INIF, SARH. México, D.F. 72 p.
- de la Paz P.O., C. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 266 p.
- de la Paz P.O., C.; A. Campos R.; A. Quintanar I.; R. Dávalos S. 1998. Estudio anatómico de la madera de cinco especies del género *Quercus* (Fagaceae) del estado de Veracruz. *Madera y Bosques*. 4(2):45-65.
- de la Paz P.O., C.; R. Dávalos S. 1995. Relación estructura-propiedad de la madera de dos especies de *Quercus* de la sierra norte de Puebla, México. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. II. pp. 427-441.

- de la Paz P.O., C.; R. Dávalos S.; A. Quintanar I. 2005. Influencia de los radios en algunas propiedades físicas y mecánicas de la madera de ocho encinos (*Quercus*) de Durango, México. *Madera y Bosques*. 11(2):49-68.
- de la Paz P.O., C.; R. Dávalos S.; E. Guerrero C. 1999. Propiedades tecnológicas de algunos encinos de Durango. *Memorias IV Congreso Mexicano de Recursos Forestales*. Durango, Dgo. México. p. 115.
- de la Paz P.O., C.; R. Dávalos S.; E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino. *Madera y Bosques*. 6(1):1-13.
- de la Paz P.O., C.; R. Salinas-Quinard. 1977. Prueba rápida de laboratorio indicadora de resistencia a pudrición de dos especies de encinos. *Ciencia Forestal*. 2(6):3-19.
- de la Paz P.O., C.; R.; S. Vélez J.; J. Ceja R. 2006. Anatomía de la madera de ocho especies de *Quercus* (Fagaceae) de Oaxaca, México. *Madera y Bosques*. 12(1): 63-94.
- Domínguez Á., F.A.; J.J. Vargas H.; J. López U.; P. Ramírez V.; E. Guízar N. 2004. Aspectos ecológicos de *Pseudotsuga menziesii* en el ejido La Barranca, Pinal de Amoles, Querétaro. *Anales del Instituto de Biología Serie Botánica*. 75(2):191-203.
- Durán F., A. 1999. Estructura y etnobotánica de la selva alta perennifolia de Nahá, Chiapas. Tesis de maestría. UNAM. México, 150 p.
- Encina D., J.A.; J.A. Villareal Q. 2003. Distribución y aspectos ecológicos del género *Quercus* (Fagaceae), en el estado de Coahuila, México. *Polibotánica*. 13:1-23.

- Figueroa R., B.; S. Moreno; M. Olvera. 2000. Dinámica de la composición de especies de bosques de *Quercus crassipes* H. et B. en Cerro Grande, sierra de Manantlán, México. *Agrociencia*. 34(1):91-98.
- Flores V., R; A. Borja de la R.; F. Zamudio S.; M. Fuentes S.; S.E. González E. 2001. Determinación a través de pruebas aceleradas de la vida útil del acabado para exteriores en madera de encino y pino. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 7(1):99-105.
- Flores V., R; M.E. Fuentes S. 1998. Estudio de maquinado de dos especies de encino (*Quercus affinis* y *Q. crassifolia*) del estado de Guanajuato. *Memorias II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales*. Durango, Durango. México. p. 23.
- Fuentes L., M.E. 1990. Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino (*Quercus*) del estado de Puebla. Tesis profesional. División Ciencias Forestales Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 52 p.
- Fuentes L., M.E.; J.A. Honorato S. 1997. Propiedades físico-mecánicas de cinco encinos del estado de Guanajuato. Reporte Técnico de Investigación no publicado. Campo Experimental San Martinito, INIFAP. Tlahuapan, Puebla. México. 34 p.
- García G., J.; E. González H. 1990. Contribución al conocimiento de dos especies de encino (*Quercus glaucoides* Mart. et al. y *Q. castanea* Neé) del sureste de Puebla. Tesis profesional. División Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 72 p.

- García J., H. 1976. Utilización de la bellota de encino (*Quercus laceyi* Schall.) en engorda de conejos. Tesis profesional. ITESM. México. 240 p.
- García S., F. 1995. Los encinos del valle de San Luis Potosí. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. II. pp. 895-930.
- García S., F., J.R. Aguirre R.; J. Villanueva D.; J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica*.10:73-103.
- García S., F.; J.R. Aguirre R. Inédito a. Guía de campo para la identificación de los árboles de sierra de Álvarez, San Luis Potosí.
- García S., F.; J.R. Aguirre R. Inédito b. Lista de arbustos de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México.
- González R., R. 1995. Distribución de especies de encinos a lo largo de un gradiente topográfico en el suroeste de Hidalgo. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 81-97.
- González S., E.; E. González M. 1995. Los encinos de Durango. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 28-33.
- González-Villareal, L.M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Instituto de Botánica. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México. 240 p.

- Guerrero O., L., A. Guzzi R., G.M. Bárcenas P.; F. Ortega E. 1992. Relación de la estructura de la madera de *Quercus sartorii* Liebm. con cuatro propiedades físico-mecánicas. *Revista Forestal Latinoamericana*. 9:35-60.
- Gutiérrez G.M.; H. Benavides M., C. Nieto P.; M. Zamora M. 1995. Los encinos del Distrito Federal. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 157-179.
- Hernández, F.J.; J. Castañeda A. 2000. Determinación de la densidad de género *Quercus* spp. en la región de Pueblo Nuevo, Durango. *Memorias III Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango. Durango, Durango. México. pp.131-132.
- Hernández, S., L.; C. González R.; F. González M. 1991. Plantas útiles de Tamaulipas. *Anales del Instituto de Biología Serie Botánica*. 62(1):1-38.
- Herrera B., A. 1981. Avance en la determinación de las características de maquinado de cinco especies de encino que vegetan en México. *Ciencia Forestal*. 6(34):45-63.
- Herrera R., J.A.; M.S. Gómez N.; A. Herrera B. 1980. Durabilidad natural de la madera de 14 especies forestales. Serie III. Boletín Técnico No. 67. INIF, SARH. México, D.F. 21 p.
- Honorato S., J.A. 1998. Características anatómicas microscópicas de diez especies de la región centro. Informe técnico no publicado. Campo Experimental San Martinito, INIFAP. Tlahuapan, Puebla. México. 10 p.
- Honorato S., J.A. 2002a. Propiedades físico-mecánicas de la madera de encinos. *En: J. Quintanar O. (Ed.). Características, propiedades y procesos de*

- transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico No. 2. INIFAP-CIRCE. C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 69-85.
- Honorato S., J.A. 2002b. La composición química de la madera de encino. *En*: J. Quintanar O. (Ed.). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico No. 2. INIFAP-CIRCE. C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 86-106.
- Honorato S., J.A.; J. Hernández P. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encinos de Puebla. *Madera y Bosques*. 4(2):79-93.
- Hueso, J.A. 2002. Prontuario de la barrica. Documento Interno. toneleríavictoria.com.es. Consultado 19 de abril de 2005. 31 p.
- Jiménez P., J.; O. Aguirre C.; L. Torres E.; M. Baca E. 1999. Descripción estructural de un ecosistema de *Pinus-Quercus* en la Sierra Madre Oriental. Memorias IV Congreso Mexicano de Recursos Forestales. Durango, Durango. México. p. 41.
- Jiménez R., J.; M. Martínez G.; S. Valencia A.; J.L. Contreras J.; E. Moreno G.; J. Calónico S. 2003. Estudio florístico del municipio Eduardo Neri, Guerrero. *Anales del Instituto de Biología*. 74(1):79-142.
- López R., M. 1980. Tipos de vegetación y su distribución en el estado de Tabasco y norte de Chiapas. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 121 p.
- López, E. 1988. Contribución etnobotánica en plantas medicinales utilizadas por dos grupos étnicos de Mecapalapa, municipio de Pantepec, Puebla. Tesis profesional. UNAM. México, D.F. México. 349 p.

- Luna J., A.L.; L. Montalvo E.; B. Rendón A. 2003. Los usos no leñosos de los encinos en México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 72:107-117.
- Luna O., T. 1983. Determinación de los índices de calidad de las pulpas de 29 maderas tropicales de Chiapas. Tesis profesional. Escuela Nacional de Estudios Profesionales de Iztacala, UNAM. México, D.F. México. 53 p.
- Machuca V., R.; A. Borja de la R.; F. Zamudio S.; G.M. Bárcenas P. 1999. Propiedades tecnológicas de la madera de *Quercus insignis* de Huatusco, Edo. de Veracruz, México. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 5(2):125-131.
- Madrigal H., L. 1990. Contribución al conocimiento de *Quercus crassifolia* Humb. & Bonpl. con énfasis en el estado de Veracruz. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 124 p.
- Manos S., P.; J.J. Doyle; K.C. Nixon. 1999. Phylogeny, biogeography and progress of molecular differentiation in *Quercus* subgenus *Quercus* (Fagaceae). *Molecular Phylogenetics and Evolution*. 12(3):333-349.
- Marroquín S., J. 1985. El género *Quercus* al noroeste del estado de Nuevo León, México. II Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Publicación especial No. 49. Guadalajara, Jalisco. México. Vol. I. pp. 24-31.
- Martínez C., J.; O. Telléz-Valdés. 2004. Listado florístico de la sierra de santa Rosa, Guanajuato, México. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. 74:31-49.
- Martínez C., J.L.; G.M. Bárcenas P.; V.R. Ordóñez C. inédito. Características de maquinado de la madera de nueve especies de sombra en cafetales del centro del estado de Veracruz.

- Martínez J., G. 1995. Aspectos ecológicos de una comunidad de *Quercus* en la región noreste de Hidalgo. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 162-168.
- McVaugh, R. 1974. Flora Novo-Galiciana. Contributions from the University of Michigan Herbarium. 12:1-93.
- Mejía D., N.R.; J.A. Meave; C.A. Ruíz J. 2004. Análisis estructural de un bosque mesófilo de montaña en el extremo oriental de la Sierra Madre del Sur (Oaxaca), México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 74:13-29.
- Mendoza O., A. 2002. Ecología, manejo y conservación de *Quercus potosina* y *Q. eduardii* en la sierra Fría, Aguascalientes. Informe final. CONABIO. 42 p.
- Montes R., E.; H.G. Ochoa R.; C.M. Rosales; H.M. García. 2004. Avance sobre las características de la madera de dos encinos blancos para la elaboración de barricas. Memorias V Congreso Tecnología de Productos Forestales. SMTPF. Pachuca, Hidalgo. México. 2 p.
- Montes R., E.; K. Grellmann A. 1982. Estudios anatómicos de encinos mexicanos para apoyo a la industria de celulosa y papel. Publicación No 10. IMCyP. 14 p.
- Müller-Using, B. 1994. Contribuciones al conocimiento de los bosques de encino y pino-encino en el noreste de México. Reporte Científico Número Especial. Facultad de Ciencias Forestales.UANL. Linares, NL. México.194 p.
- Nájera L.; A. Zacarías V.; J. Méndez G.; J.J. Graciano L. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Dgo. Ra-Ximhai. 1(3):558-577.

- Negrete L., J.L. 1970. Algunas características físicas y anatómicas de la madera de cuatro especies de encinos (*Quercus*) del estado de Michoacán. Tesis profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Edo. de México. México. 65 p.
- Nieto de P., C.; X. Zamora. 1985. Los encinos de la sierra del Ajusco. II Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Publicación Especial No. 49. Guadalajara, Jalisco. México. Vol. I. pp. 56-67.
- Nixon, K.C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. *In*: T.P. Ramamoorthy; R. Bye; A. Lot; J. Fa (Eds). Biological diversity in Mexico: origin and distribution. Oxford University Press. Nueva York. pp. 447-458.
- Ordóñez, C., V.R.; G. Bárcenas P.; A. Quiroz S. 1989. Características físico-mecánicas de 10 especies de San Pablo Macuiltianguis, Oax. Boletín Técnico La Madera y su Uso No. 21. Instituto de Ecología-LACITEMA / UAM-Azcapotzalco. 30 p.
- Ortega E., F.; I. Guerrero O.; T.F. Carmona V.; C. Córdova. 1988. Angiospermas arbóreas de México Num. 1. Anatomía de la madera de veintiocho especies de Cosautlán de Carvajal, Veracruz. Boletín Técnico La Madera y su Uso 19. INIREB LACITEMA-UAM. Xalapa, Veracruz. México. 206 p.
- Pennington, D.; J. Sarukhán K. 1968. Árboles tropicales de México. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales y Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. México, D.F. 413 p.
- Peña R., V.M.; C. Bonfil. 2003. Efecto del fuego en la estructura poblacional y la regeneración de dos especies de encinos (*Q. liebmanii* Oerst. y *Q.*

- magnoliifolia* Née) en la región de la montaña, Guerrero, México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 72:5-20.
- Pulido C., J.R. 1985. Estudio del uso del bosque para la extracción de leña, madera para construcción de casas y fabricación de herramientas en una comunidad otomí, San Andrés Timilpan, Edo. de México. Tesis profesional. UNAM. México, D.F. México. 230 p.
- Quintanar O., J. (Editor). 2002. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico Núm. 2. CIRCE, INIFAP. C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. 194 p.
- Ramírez C., A.; D.A. Rodríguez T. 2004. Efecto de calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Q. rugosa*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 10(1):5-11.
- Ramírez T., H.M. 2000. Análisis estructural del bosque de encino en la sierra de Álvarez, S.L.P. Tesis profesional. Facultad de Agronomía. UASLP. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. México. 46 p.
- Revuelta A., M.M.; J. Zamora M. 1990. Anatomía de la madera de seis especies de encinos (*Quercus* spp.) del municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México. 103 p.
- Reyes J. I.; J.E. Gama C. 1995. Revaloración de la importancia de los encinos. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 44-55.

- Reyes J., I. 2006. *Quercus hintonii* Warb.: especie endémica del encinar del SW del estado de México. *Contactos*. 60:64-72.
- Rodríguez C., H. 1995. Primer registro para México de *Quercus kelloggii* Newb, amenazado de extinción. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15. UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 893-894.
- Rodríguez C., H.; M. Gutiérrez G. 1995. Los encinos de Baja California. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. II. pp. 893.
- Romero R., S. 1993. El género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de México, México. Tesis de maestría. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 151 p.
- Romero R., S.; C. Rojas C.; C. Almonte D. 2000. *Quercus hintonii* Warb. (Fagaceae) encino endémico de la depresión del Balsas, México y su propagación. *Polibotánica*. 11:121-127.
- Rutiaga Q., J.G., E. Windeisen; G. Wegener. 2000. Influencia de los extraíbles de la madera de un encino al desarrollo micelar fúngico. *Memorias III Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales*. Consejo de Ciencia y Tecnología del Estado de Durango. México. pp. 67-68.
- Rzedowski J. 1965. Vegetación del estado de San Luis Potosí. *Acta Científica Potosina*. 5: 5-291.
- Rzedowski, J. 2006. *Vegetación de México*. 1a edición digital. Comisión Nacional para la Conservación y Uso de la Biodiversidad. México, D.F. 504 p.

- Sánchez G., A.; L. López M. 2003. Clasificación y ordenación de la vegetación del norte de la sierra Nevada, a lo largo de un gradiente altitudinal. *Anales del Instituto de Biología*. 74(1):47-71.
- Sánchez L., G.; M. González. 1995. Comunidades de *Quercus* en el municipio de Huixquilucan, estado de México. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 57-80.
- Sánchez R., L. 2000. Análisis de la calidad de carbón vegetal para exportación de algunas especies mexicanas. Memorias III Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Morelia, Michoacán. México. pp. 39-40.
- Sandoval O., A. 1979. Estudio analítico de sustancias extraíbles de cuatro especies del género *Quercus*. Tesis profesional. Fac. de Química, Univ. de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México. 77 p.
- Santacruz N., G. 1996. Estudio florístico taxonómico del género *Quercus* en el estado de Tlaxcala, México. Tesis Profesional. Departamento de Agrobiología, Universidad Autónoma de Tlaxcala. 86 p.
- Simpson, W.; A. TenWolde. 1999. Physical Properties and Moisture Relations of Wood. In: Anonymous. Wood handbook-Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Forest Products Laboratory, Forest Service, Department of Agriculture. 463 p.
- Spellemberg, R.; J.R. Bacon. 1996. Taxonomy and distribution of a natural group of black oaks in Mexico (*Quercus*, section *Lobatae*, Subsection *Racemiflorae*). *Systematic Botany*. 21:85-99.

- Stevensson, T. 1997. The new Sotheby's wine encyclopedia. Dorling Kindersley. Londres. 600 p.
- Tejeda F., V. 1994. Descripción anatómica de la madera de ocho especies de encinos del municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México. 127 p.
- Valdez T., V.; E. Aguilar E. 1983. El género *Quercus* en las unidades fisonómicas-florísticas del municipio de Santiago, N.L. INIF/SARH. México. 94 p.
- Valdez T., V; R. Foroughbakhch P.; G. Alanís F. 2003. Distribución relictual del bosque mesófilo de montaña del noreste de México. Ciencia UANL. 6(3):360-365.
- Valencia A., S. 1989. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Guerrero, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 183 p.
- Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México. 75:33-53.
- Valencia A., S.; S.L. Cartujano P. 2002. *Quercus pinnativenulosa* (Fagaceae), un encino poco conocido de la Sierra Madre Oriental. Anales del Instituto de Biología. 73(1):89-94.
- Vázquez S., L.; J.A. Honorato S. 2000. Resistencia natural de la madera de cinco especies del estado de Puebla. Ciencia Forestal. 25(87):45-57.
- Vázquez V., M.L. 1992. El género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Puebla, México. Tesis profesional. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 246 p.

- Villalvazo N., J.; O. Faix. 1981. Caracterización analítica de las ligninas de cuatro especies del género *Quercus* y sus posibilidades de aprovechamiento técnico. IMCyP Publicaciones No. 4. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco. México. 7 p.
- Villarreal G., L. 1985. Claves de identificación de los encinos de Jalisco. II seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Publicación Especial No. 49. Guadalajara, Jalisco. México. Vol. I. pp. 11-18.
- Villavicencio G., R.; M. Dees.; A. Gallegos R. 2002. Descripción de estructuras forestales en la zona de protección de flora y fauna sierra de Quila. V Congreso Nacional de Áreas Naturales Proetegidas. Guadalajara, Jalisco. México. 3 p.
- Villavicencio G., R.; R. Gallegos A.; E. Hernández A.; A. Gallegos R. 1995. Estudio de la ecología de los encinos del bosque escuela en el bosque La Primavera, Jal. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 130-136.
- Yáñez E., L.; J.I. Valdez H. 1995. Los encinos de la comunidad de Ixtlán de Juárez, Oaxaca. III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 34-42.
- Zamora S., C.; C. Pérez G. 1995. Contribución al conocimiento ecológico de los encinos de la región de Los Altos de Chiapas (subregión San Cristóbal). III Seminario Nacional sobre Utilización de los Encinos. INIFAP/SARH Reporte

Científico Número Especial 15 UANL. Linares, Nuevo León. México. Vol. I. pp. 112-128.

Zavala Ch., F. 1985. Los encinos hidalguenses. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 133 p.

Zavala Ch., F. 1990. Los encinos mexicanos: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo. 16(95):43-51.

Zavala Ch., F. 1995. Encinos y robles. Notas fitogeográficas. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Edo. de México. México. 44 p.

Zavala Ch., F. 1998. Observaciones sobre la distribución de encinos en México. Polibotánica 8:47-64.

3. REVISIÓN SOBRE EL USO DE LA MADERA DE ENCINOS BLANCOS EN LA MADURACIÓN DE VINOS Y AGUARDIENTES

RESUMEN

La madera más usada para fabricar barricas y para la maduración de vinos y bebidas destiladas es la de encino o roble blanco, debido a que sus características son muy adecuadas para tonelería, y la interacción entre los líquidos y esta madera realza o mejora su calidad. Las propiedades de la madera de encino blanco resultantes de su estructura celular (resistencia mecánica, resiliencia, facilidad para trabajarse y composición química) la han catalogado como la más adecuada para este uso. La presencia abundante de tálides, crecimientos celulares que obstruyen los vacíos intra e intercelulares, la hacen semi impermeable y sus extractos, principalmente los taninos elágicos, interactúan favorablemente con los vinos y aguardientes. Estas cualidades han contribuido a que la madera de los encinos blancos sea altamente cotizada para este uso. Estas características de la madera de los encinos blancos, son dependientes de la especie botánica, de la zona geográfica en donde crecen, del clima, del tipo de suelo, y de su manejo forestal. La aportación que la madera puede dar a los líquidos durante la maduración varía, debido al método de secado, la intensidad del tostado, la edad y número de usos de la barrica, el periodo de maduración, y si se usan barricas o recipientes inertes con adición de partículas de madera. Tradicionalmente, se ha utilizado para este propósito únicamente la madera de *Quercus robur* (roble pedunculado), y *Q. sessiliflora* (*Q. petraea*, encino sésil) de Francia, y *Q. alba* (encino blanco) de Estados Unidos. El incremento de la producción de vinos y bebidas alcohólicas en el hemisferio sur

para satisfacer la demanda en nivel global, el alto costo de las barricas fabricadas con madera de sólo dos o tres especies, ocasionó la investigación y desarrollo de nuevas técnicas de maduración y de la evaluación de otras maderas de encino blancos locales y de otras especies. Los resultados obtenidos en varios países utilizando maderas de otras especies de encino y otras angiospermas, y de otros materiales de los encinos tradicionalmente usados (tablillas, astillas y otras) para madurar vinos y aguardientes, han mostrado que son comparables con los obtenidos con las barricas y maderas tradicionalmente usadas.

Palabras clave: madera de encino o roble blanco, maduración de bebidas alcohólicas, tostado, barricas, astillas.

ABSTRACT

The white oak wood is the most used for cooperage for maturing wines and distilled beverages, because the interaction between these fluids and this wood enhances or improves the quality of the liquids. Those white oak wood properties are the result of their cell structure, mechanical resistance, resilience, workability, and chemical composition. The abundant presence of tyloses, cell growth which obstruct most of the intra and intercellular voids, generates a semi waterproof wood; and their extracts, mainly ellagic tannins, interact with wines and spirits contribute for the white oaks wood has been recognized as the most suitable for this use. Those characteristics of white oaks wood depend on species, geographical area, soil type, climate and forestry management. The contribution wood makes onto the liquids during the maturing period varies according to drying method, toasted level, age and number of uses of the barrel, maturation period and the kind of wooden material used

(barrels or inert containers with addition of wooden particles). Traditionally, only wood from *Quercus robur* (pedunculate oak) and *Q. sessiliflora* (*Q. petraea*, sessile oak), from France and *Q. alba* from the United States have been used. The increase in the production of wines and spirits in the southern hemisphere to satisfy the worldwide demand, in addition to the high cost of the barrels made out with wood from only two or three species, have stimulate to research and develop new techniques for maturing and to evaluate other local white oak woods and other species. The results obtained in several countries using wood of other oak species or other hardwoods, besides other wood materials (sticks, chips and others) to age wines and spirits, have shown that they are comparable to those obtained with barrels and wood used through the years.

Key words: white oaks wood, wine and distilled beverages aging, toast wood, oak chips

INTRODUCCIÓN

Entre los múltiples uso de la madera de encino, en particular la de los encinos blancos, destaca la fabricación de barricas para la maduración de vinos y bebidas destiladas, debido a la interacción de estos líquidos con las propiedades de la madera y las características del ambiente en el interior de la barrica. El descubrimiento casual de esta interacción se remonta a la época del Imperio Romano (Cacho, 2006; Muñoz, 2006), o a la edad media y el renacimiento, cuando el transporte del vino en barco implicaba en ocasiones largos periodos de almacenamiento en barricas hechas de madera extraída de los bosques de encino blanco o robles del centro de Europa (Cendoya, 2003; Muñoz, 2006; Ramírez, s.f.).

Desde entonces hasta la actualidad se ha realizado mucho trabajo para establecer los procesos que ocurren durante la maduración de los vinos y aguardientes para seleccionar las maderas más adecuadas y los procesos de fabricación y mantenimiento de las barricas y toneles (Hueso, 2002) como para analizar cuáles son sus aportaciones a los líquidos madurados (Cadahia *et al.*, 2001 a y b, 2003; Cadahia y Fernández de Simón, 2004; Chatonnet y Dubourdieu, 1998; Chatonnet *et al.*, 1997; del Álamo *et al.*, 2004 a y b; Fernández de Simón *et al.*, 1999 a y b, 2003; Mosedale *et al.*, 1998 y 1999)

La creciente demanda de vinos y bebidas destiladas, el auge de fábricas de vino en el hemisferio sur (Chile, Argentina, Australia, Nueva Zelanda y Sudáfrica) carente naturalmente de encinos o robles blancos, la alta calidad de la madera que se requiere para la fabricación de barricas y el uso tradicional de la madera de sólo dos especies de encinos para ello, son parte de los motivos económicos que han estimulado la investigación y desarrollo de tecnologías con madera de otros encinos y otras maderas (Cadahia y Fernández de Simón, 2003; Caldeira *et al.*, 2002; Dias *et al.*, 1998; Fan *et al.*, 2006; Faria *et al.*, 2003) y con otros sistemas opcionales de interacción entre la madera y los líquidos madurados, como la utilización de virutas (*chips*), partículas, tablillas o listones (del Álamo, 2006; Kraus, 2003; Morales *et al.*, 2004; Muñoz, 2006; Pérez-Coello *et al.*, 1999 y 2000; Rogers, 2002; Villarán *et al.*, *sf*; Walker, 1996), pero sin reducción significativa de la calidad de los productos.

En México la producción de mezcal certificado durante 2009 fue de alrededor de dos millones de litros, que cumplieron con lo establecido por la Norma Oficial Mexicana NOM-SECOFI-070 (Anónimo, 2003a), en la cual se establece que para portar la etiqueta de añejado o reposado debe estar en contacto con madera de roble

blanco, uno de los varios nombres como se identifica a los encinos blancos. Con el tequila sucede algo similar, pero sus volúmenes son mucho mayores, así como los de rones y brandis madurados, actividad para la que se importan todas las barricas, duelas y otros materiales requeridos en el país.

El objetivo de este trabajo es integrar y compendiar la información acerca de los efectos de la madera de encinos blancos o robles sobre la maduración de vinos y aguardientes, particularmente las propiedades o características de la madera que más provocan cualidades organolépticas deseables en estas bebidas alcohólicas, y explorar si dichos efectos podrían conseguirse con encinos blancos mexicanos.

LA MADERA DE ENCINOS BLANCOS EN LA TONELERÍA

El uso de barricas como recipientes para vinos se ha documentado desde la época de esplendor de los griegos y romanos (Cendoya, 2003; Muñoz, 2006; Ramírez, sf;). Hasta el siglo XVII, cuando se inventó la botella de vidrio, las barricas eran casi el único medio para transportar y almacenar el vino (Navarro, 2007). El uso de recipientes abiertos de madera de encino para la fermentación de vino y cerveza se presume que existe desde antes de la edad media, pero es para esta época cuando se tienen testimonios del uso de barricas para la maduración de los vinos entre las congregaciones de frailes y monjes (Cendoya, 2003; Domine, 2001; Ramírez, s.f.).

Las barricas o barriles de madera se han usado como recipientes para el transporte no sólo de vino o líquidos sino para otros materiales debido a sus configuración y resistencia. Las duelas que la formas son curvadas o flexionadas con

la aplicación de humedad y temperatura, y sujetadas con cinchos metálicos cuyos conectores no traspasan la madera sólo la mantienen unida a presión.

La madera más ampliamente usada para fabricar barricas es la de encinos blancos, debido a la combinación de su estructura anatómica, resistencia mecánica, resiliencia, facilidad para trabajarse y composición química. La presencia de tálides obstruyendo los agujeros entre los vasos de estas maderas, las hacen semi impermeables, y el tamaño y abundancia de radios le dan una mayor tenacidad y flexibilidad para poder darle la forma de las barricas (Anónimo, sf). Además, tiene poros pequeños, un contenido aceptable de taninos, y sustancias suaves y aromáticas que interactúan favorablemente con los vinos y aguardientes (Miller, 1999; Stevensson, 1997). Estas características propias de la madera de los encinos blancos, son dependientes, como en todo tipo de madera, además de la especie botánica, de la zona geográfica en donde crecen, del clima, del tipo de suelo, y de su manejo forestal (Panshin y DeZeew, 1980).

La aportación de la madera de encino blanco o roble a los vinos y aguardientes que se maduran en contacto con ella varía, además, debido al método de secado, la intensidad del tostado, la edad y número de usos de la barrica, el periodo de maduración, y por supuesto si el proceso se realiza en barricas o en recipientes inertes con adición de partículas de madera (Díaz-Plaza, 2002; Fernández de Simón *et al.*, 1999b y 2003 a y b; Feuillat *et al.*, 1999; Giménez *et al.*, 2001; Jordan *et al.*, 2005; Marco *et al.*, 1994; Masson *et al.*, 1995; Matricardi y Waterhouse, 1999; Montero, 2002; Mosedale *et al.*, 1998; Mosedale y Ford, 1996 Pérez-Prieto *et al.*, 2002; Sauvageot y Feuillat, 1999; Snakkers *et al.*, 2000; Vivas y Glories, 1996; Vivas *et al.*, 1998; Zamora, 2005).

MADERAS USADAS EN LA MADURACIÓN DE VINOS Y BEBIDAS DESTILADAS

De las especies de roble o encino blanco que crecen en el mundo, dos de las más usadas en la maduración de vinos y aguardientes son: *Quercus robur* (roble pedunculado) y *Q. sessiliflora* (*Q. petraea*, encino sésil), las cuales se pueden encontrar ampliamente distribuidas en los bosques franceses, aunque dispersas y mezcladas con otras especies (Cendoya, 2003; Cottrell, 2003; Montero, 2002); ambas presentan características estructurales y físico-químicas similares (Navarro, 2007). La madera más apreciada es la de los árboles que crecen en las regiones de Limousin, Central (Alliers y Nevers) de Borgoña y de Vosges (Figura 1).

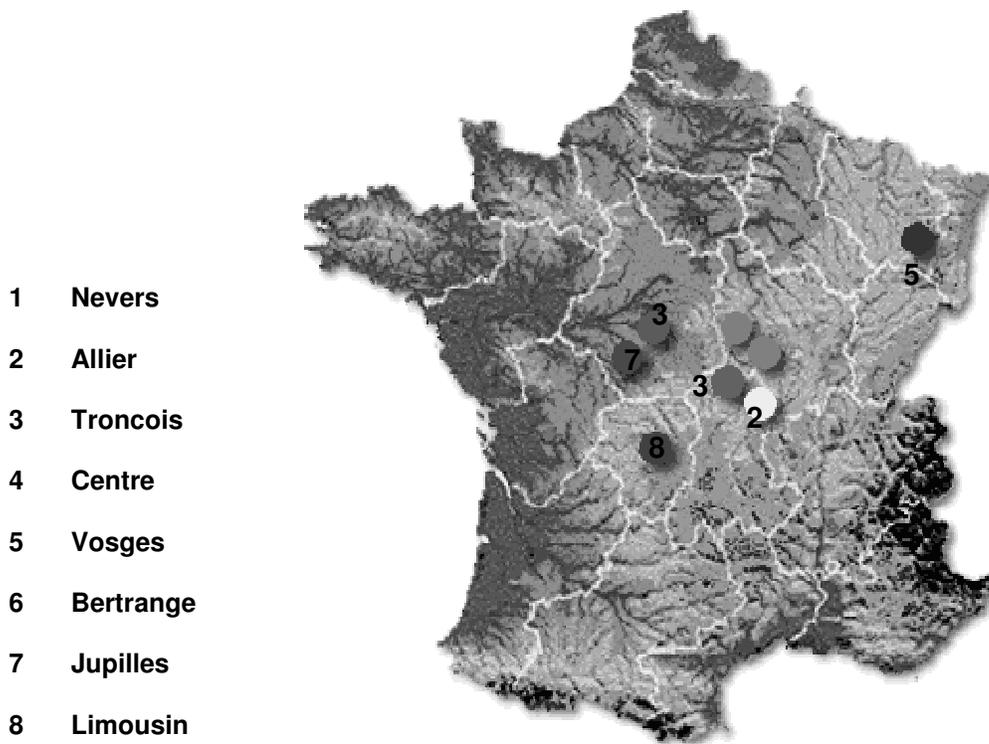


Fig. 1. Distribución de *Quercus robur* (roble pedunculado) y *Q. sessiliflora* (*Q. petraea*, encino sésil) en Francia (Adaptado de nadalie-usa.com).

El encino pedunculado crece más rápidamente en los bosques de Limousin, debido al clima más cálido de la región (Navarro 2007); el encino sésil es el dominante en los bosques de Tronçais del centro de Francia, y en el bosque de Citaux en Borgoña ambos se encuentran mezclados (Montero, 2002).

La otra especie con mayor aprecio para tonelería y madera destinada a la maduración de vinos y destilados es el encino blanco (*Q. alba*) que crece, principalmente, en la región oriental de Estados Unidos, específicamente en los estados de Missouri, Minnesota, Pennsylvania y Virginia, aunque también en el estado de Oregon, en cuyos bosques es codominante con otras especies con las que se hibridiza: *Q. bicolor*, *Q. macrocarpa*, *Q. prinus*, *Q. muehlenbergii*, *Q. stellata* y *Q. lyrata* (Cottrell, 2003).



Fig. 2. Distribución natural de *Quercus alba* (encino blanco) en Estados Unidos (Adaptado de nadalie-usa.com)

En Francia el manejo de los bosques para cosechar madera con este fin se realiza desde 1200 y se institucionalizó en 1600, con el propósito de mantener un abastecimiento continuo, con turnos de corte cada 80 a 200 años. El 90 % de toda la madera que se corta se usa para fabricar muebles y otros productos; el restante 10 % se utiliza para barricas (Cottrell, 2003; Domine, 2001; Stevensson, 1997).

En Estados Unidos los bosques de angiospermas, fuentes de las llamadas maderas duras, entre las que se encuentra el encino blanco, carecen de manejo forestal intensivo, pues simplemente los árboles se cosechan a edades entre los 60 y los 200 años. De la producción de esta madera, solamente entre 3 % y 5 % se utiliza para tonelería u otros productos para la maduración de vinos y destilados (Cottrell, 2003; Stevensson, 1997).

La madera de encino no es la única que se ha usado para la fabricación de barricas; históricamente también se ha usado la madera de castaño (*Castanea sativa*), aunque es muy porosa y con alto contenido de taninos. En Chile se ha usado otra fagácea, *Nothofagus procera*, llamada raulí. En California y Oregón en Estados Unidos se usan todavía recipientes de secuoya; en Grecia usan otra conífera, una especie de pino, para darle a sus vinos un sabor resinoso (Stevensson, 1997).

En diferentes países con producción vitivinícola, como España, Portugal y Brasil, se han evaluado maderas que crecen localmente, comparando sus propiedades con las maderas de las especies usadas tradicionalmente (Arapitsas *et al.*, 2004; Cacho, 2006; Cadahia *et al.*, 2001 a y b, 2003; Cadahia y Fernández de Simón, 2004; Canas *et al.*, 2000; del Álamo *et al.*, 2004 a y b; Doussot *et al.*, 2002; Faria *et al.*, 2003; Fernández de Simón, 1999a; Morales *et al.* 2004; Peng *et al.*, 1991; Rogers, 2002).

PROCESO DE PREPARACIÓN DE LA MADERA PARA TONELERÍA

La elaboración de las barricas, aún en la actualidad involucra mucho de arte. En Francia la madera para este fin debe provenir de árboles con más que 200 años de edad de determinadas regiones, la región centro y Allier; además, los árboles seleccionados para este propósito han recibido tratamientos silvícolas para mejorar su calidad (Domine, 2001). Una vez derribado el árbol, la madera se convierte en tablones obtenidos por rajado siguiendo la dirección de las fibras, y se somete a un proceso de secado al aire libre hasta por 36 meses, expuesta a la acción de la lluvia y el sol, con el fin de eliminar progresivamente el exceso de taninos (Stevensson, 1997; www.worldcooperage.com).

Después de la colonización europea, la industria alcoholera se estableció en Estados Unidos y lógicamente se procuró utilizar los recursos locales; así *Q. alba* llegó a ser la especie más utilizada para este fin. Para la fabricación de barricas en este país la madera se obtiene por medio de aserrío mecánico y es secada artificialmente en tiempos muy cortos. Estos procesos, además del cultivo de los encinos han permitido reducir el precio de la madera para fabricar barricas en Estados Unidos, y que sea importada ventajosamente por España, Portugal, Australia y Sudáfrica (Domine, 2001).

Durante el proceso de fabricación de las barricas, la madera requiere ser sometida a tratamiento de tostado o quemado en diferente grado, lo cual contribuye a brindar características deseables al producto por madurar (Hueso, 2002; www.worldcooperage.com). Al respecto, es importante la relación del área de la madera en contacto con los volúmenes de líquidos en maduración, pues mientras menor sea dicha relación las sustancias que aporta la madera, serán más diluidas y

se perderá esta aportación (Stevensson, 1997). Esto explica en buena parte la escasa variación en las dimensiones de las barricas.

El tostado, originalmente, era resultado del calentamiento aplicado a las duelas durante la fabricación de las barricas, y al reconocerse sus efectos favorables sobre las características del producto madurado, se comenzó a aplicar a toda el área interior de la barrica después de conformada.

Así, el procedimiento actual usado para curvar las duelas consta de tres etapas: calentamiento, doblado y finalmente el tostado. Aunque en cada etapa se tuesta o carboniza el interior medio de las duelas de la barrica, es durante la última etapa, la de tostado, cuando se aplica cada nivel de tostado general (Figura 2).

Durante el tostado, los aldehidos furánicos, responsables de los aromas a tostado, alcanzan su máximo nivel de concentración, pero también se genera el aroma de la vainillina, y varios fenoles como el eugenol, agregan el toque de especias a la complejidad de los aromas que la madera de encino confiere a los vinos y aguardientes (Stevensson, 1997; www.worldcooperage.com).

En general, se reconocen tres niveles de tostado, tenue, medio y fuerte. Tenue es elegido cuando se quieren mantener las características naturales de la madera; el medio varía entre un verdadero nivel medio que es el que satisface los requerimientos para lograr un buen vino tinto, y el llamado medio “plus” que es el más utilizado para madurar los vinos blancos; con el tostado fuerte se reducen las lactonas que aportan el sabor a coco y permanece el carácter de humo y tostado. Con el tiempo a las barricas con tostado fuerte se le va lavando el carácter al usarse con los vinos tintos, y pueden entonces usarse para madurar los vinos blancos, aunque son más apreciadas para la maduración de bourbons (whiskey americano,



Fig. 3. Algunos sistemas de tostado de la cara interior de las barricas, primero para conformarlas y luego para ampliar y regular la intensidad del área tostada (Tomadas de www.killerby.com.au; www.lochlomondistillery.com)

destilado de maíz o centeno) (Anónimo, 2003b; Lumsden, 2006; McLean, 2006; Stevenson, 1997). La capa carbonizada actúa como un “purificador” que remueve las características de inmadurez, particularmente absorbe algunos componentes del whiskey recién destilado, principalmente el sulfuro (Lumsden, 2006; McLean, 2006).

Los whiskys escoceses de uan sola malta suelen añejarse en barricas en donde se maduró el oporto o el jerez (Hoffmann, s.f.; Lerner, 1998).

Las barricas de madera de encino se fabrican con una capacidad de 200 a 315 l. Su capacidad de interacción con el líquido contenido es finita, pero el número de veces que puede usarse depende de las exigencias legales, el tipo de vino o aguardiente que se madure, y el tiempo de maduración de cada carga. Entre cada carga las barricas son sujetas a un proceso de mantenimiento para limpiar las superficies, reponer piezas en mal estado, o finalmente destinar sus duelas en buen estado para fabricar otras barricas de menor capacidad. Estas operaciones aunque implican inversión económica y de tiempo, se justifican por el alto costo de las barricas nuevas.

Con el fin de reducir la inversión en barricas y facilitar su amortización se han diseñado métodos para que la adición de madera de encino nueva contribuya a la maduración de vinos y aguardientes, sin tener que reemplazar las barricas (Hueso, 2002). Esto es lo que suele hacerse en México en las fábricas de tequila y de mezcal, pues las normas correspondientes no especifican que deben usarse barricas nuevas.

Ejemplos de estas opciones son un sistema de tablillas unidas entre sí, o de tablillas individuales que se colocan perpendiculares a las duelas en ranuras de la superficie interior de las barricas, o madera fragmentada colocada en el interior de redes de material inerte que se suspenden dentro de las barricas. Con ello se proporcionan los compuestos de la madera necesarios para que el contenido adquiera las propiedades esperadas del proceso de maduración.

También se puede introducir en el líquido contenido en barricas agotadas o en recipientes inertes, aserrín, astillas o partículas regulares de madera de encino, secadas y tostadas, para emular en lo posible las condiciones originales de las barricas, pero a un menor costo (Coello *et al.*, 1999 y 2000; Kraus, 2003; Muñoz, 2006; Pérez-Rogers, 2002; Villarán *et al.*, *sf*; Walker, 1996; www.worldcooperage.com).

El uso de la madera de encino blanco para la maduración de vinos y aguardientes en formas diferentes a las barricas, se inició en la década de los 60's, sobre todo en los Estados Unidos, y estos métodos han contribuido en gran medida a la producción de vinos de alta calidad pero más económicos para conquistar los mercados internacionales. En Australia las fábricas de vinos han perfeccionado su uso, pero no fue sino hasta 1990 que empezaron a exportar sus técnicas a prácticamente todos los países productores de vino en el mundo. Trabajos de investigación han mostrado la fuerte similitud o falta de diferencias significativas entre resultados comparativos, de manera que ha sido difícil distinguir los vinos madurados en barricas de encino blanco de los madurados en recipientes inertes con la adición de madera en partículas (Day, 2003; del Álamo *et al.*, 2006; Dias *et al.*, 1998; Stevansson, 1997).

CARACTERÍSTICAS DE LA MADERA DE ENCINO BLANCO INVOLUCRADAS EN LA MADURACIÓN DE VINOS Y BEBIDAS DESTILADAS

La madera de robles o encinos blancos posee características anatómicas que la hacen adecuada para contener líquidos. Así, la disposición anular de sus elementos celulares, sobre todos de sus vasos, es distintiva de esta madera; además

perpendicularmente a los vasos presenta otras agrupaciones celulares transversales que van del centro hacia la periferia, denominados radios. Los cruces de estos radios con los vasos longitudinales son obturados por tílides, depósitos de contenidos celulares que los ocluyen, contribuyendo a que la madera se vuelva impermeable una vez que se seca (Cottrell, 2003).

La madera de los encinos blancos que crecen en la costa oriente de Estados Unidos tiene porosidad anular; es decir, sus vasos de mayor tamaño apreciables a simple vista tienen un arreglo concéntrico en la madera temprana de cada anillo de crecimiento, pero además presenta radios medulares muy grandes, conspicuos a simple vista, y con mayor tildosis que los encinos blancos o robles franceses y en general que los encinos europeos.

La madera de encino del este norteamericano tiene menor contenido de taninos (1 %) que la de los encinos nativos de Francia (8 %), pero presenta mayor cantidad de componentes aromáticos, especialmente vainillina y otras lactonas que le proporcionan el sabor a coco característico de los encinos de Estados Unidos (Domine, 2001; Stevensson, 1997). Los taninos hidrolizables, termorreactivos, se almacenan en los radios de la madera y sufren cambios durante el secado y con la intensidad del tostado, pero aún es insuficiente la información sobre estos procesos de cambio.

En general, la madera con porosidad difusa tiene niveles bajos de taninos, lo cual enmascara los sabores de la madera de encino. En cambio, las maderas con porosidad semidifusa tienen niveles altos de taninos y el sabor a madera que confiere a los líquidos es muy fuerte (Domine, 2001; Feuillat *et al.*, 1997; Feuillat y Keller, 1997; Hueso, 2002).

La lignina se modifica lentamente durante el secado al aire libre como una reacción al “lavado” intermitente de la lluvia, a los rayos ultravioletas de la luz solar, y a la degradación de los hongos de pudrición, estos agentes, de manera sucesiva van rompiendo su estructura y dando origen a un grupo de compuestos, principalmente la vainillina (Férrandez de Simón; 1999b).

Cuando la madera se somete al proceso de tostado la degradación de la lignina ocurre más rápidamente. La celulosa aporta muy poco a las características del líquido que se está madurando. En las hemicelulosas, la ruptura de los polímeros en azúcares simples se inicia con la pérdida de humedad conforme avanza el secado; posteriormente durante el tostado, a una temperatura de 150 °C estos polisacáridos continúan rompiéndose, formando compuestos caramelizados y dulces, asociados a los aromas que se van desarrollando (Figura 4). Los caracteres propios del tostado se forman a temperatura mayores que 215 °C (Hueso, 2002).

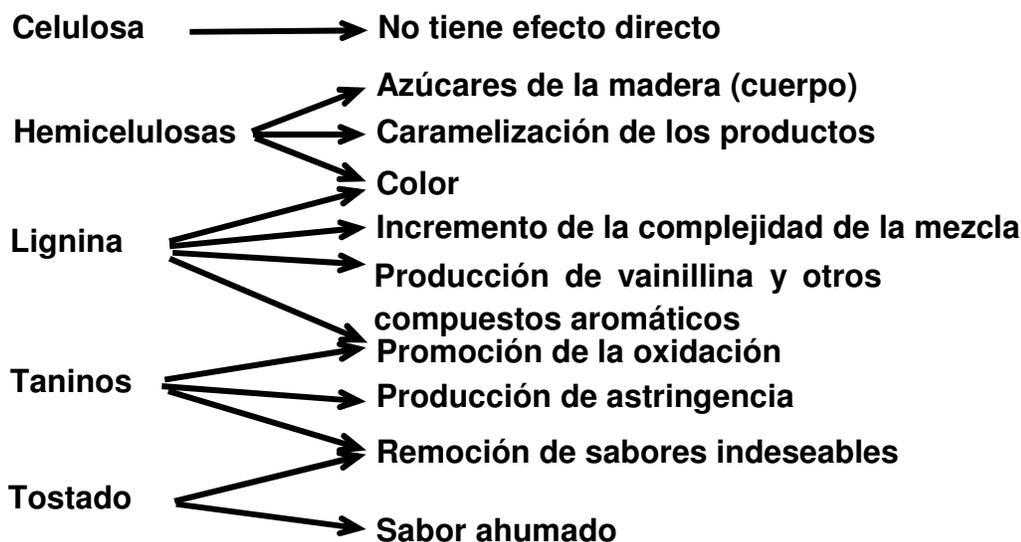


Fig. 4. Resumen de las aportaciones de los compuestos de la madera y su tostado durante la maduración (Hueso, 2002).

Las duelas requieren ser dobladas para armar la barrica; para ello es necesarios suavizarlas y flexionarlas, lo cual se consigue con la aplicación de humedad y calor. El calor concentrado hacia la parte media interior de las barricas genera el tostado primario, en este proceso ocurre una degradación térmica que incrementa el contenido de fenoles, aldehídos aromáticos y furfurales, disminuye los compuestos volátiles, genera compuestos aromáticos, reduce los niveles de taninos astringentes e incrementa los compuestos del sabor (McLean 2006). También durante el tostado se generan sustancias como furfural, 5 metifurfural, 5-hidroximetilfurfural y furfuril alcohol compuesto, provenientes de las pentosas y las hexosas (Cacho, 2006; Cottrell, 2003; Giménez *et al.*, 1996 y 2001; Hueso, 2002).

COMPUESTOS QUE PARTICIPAN EN LA MADURACIÓN

La madera de encinos que crecen en Estados Unidos tiene menor contenido de taninos que la de Francia, pero una mayor cantidad de componentes aromáticos, especialmente vainillina y otras lactonas que le proporcionan su característico sabor a coco (Chatonet *et al.*, 1997; Chatonet y Dobourdiou, 1998; Cottrell, 2003; Domine, 2001; Stevensson, 1997).

El secado de la madera ayuda a suavizar los taninos y afina los sabores del encino; conforme la madera va perdiendo humedad se produce una hidrólisis y una oxidación que reduce el contenido de algunos taninos y polimeriza otros. Al inicio del secado los elagitaninos verdes disminuyen (Cacho, 2006; Hueso, 2002).

Los componentes de la madera de los encinos blancos o robles que más aportan características deseables a las bebidas durante su proceso de maduración son los taninos elágicos, los cuales en la madera de algunas especies pueden

representar hasta el 10 % de su peso seco. Estos compuestos son polímeros del ácido elágico y glucosa. Los más importantes son dos monómeros que son isómeros entre sí: la vescalagina y la castalagina, y sus dímeros identificados como roburinas A,B, C, D, y E (Cendoya, 2003; Díaz-Plaza *et al.*, 2002; Domine, 2001; Hueso, 2002).

Los taninos elágicos son solubles en medios hidroalcohólicos, como los vinos y los aguardientes, y su sabor contribuye significativamente al proceso de su maduración (Jordan *et al.*, 2005). Pero la concentración y composición de estos taninos varía en dependencia de la madera utilizada y el efecto de las soluciones alcohólicas y el ambiente requerido para su extracción aún no están bien establecidos (Jordan *et al.*, 2005).

Al calentar la madera se incrementa el contenido de fenoles, aldehidos aromáticos y furfurales. El tostado induce la degradación térmica y genera compuestos aromáticos, reduce los niveles de taninos e incrementa los compuestos del sabor. El tostado, después de humedecer la madera para doblarla, le da a la flama una penetrabilidad mayor en los poros de la madera, lo cual permite suavizar los sabores, disminuir los compuestos volátiles y suavizar los taninos (Cacho, 2006).

RELACIÓN ENTRE LAS PROPIEDADES Y PROCESO DE LA MADERA Y LA MADURACIÓN DE BEBIDAS ALCOHÓLICAS

Una comparación realizada con barricas fabricadas con madera de la misma especie de roble francés, pero proveniente de los bosques de Nevers y de Alliers (Montero, 2002) dió como resultado que las fabricadas con la primera presentaron mayor concentración de lactonas, en comparación con las frabricadas con la segunda. Estas últimas poseían un grano más fino, por lo que el autor concluye que

mientras más porosa sea la madera reaccionará más ante la aplicación de temperaturas altas, formando más fácilmente compuestos como las lactonas.

En el whisky americano o bourbon, la barrica aporta el 90 % del sabor del producto madurado; hasta 1947 sólo se maduraba en barricas hechas con madera de *Q. robur* provenientes de Francia, Europa Central y España. Actualmente casi el 95 % de las barricas requeridas para esta bebida son fabricadas en Estados Unidos con madera de *Q. alba* (Mc Lean, 2006).

Con técnicas espectrométricas se evaluó sidra (vino de manzana) madurada con partículas de madera de tres especies de encino: francés del bosque de Alliers (*Q. petraea*), americano (*Q. alba*) y chino (del noreste de China, sin identificar la especie), sometidos a tostado ligero, medio y alto, y con tres proporciones de partículas, 2 g, 4 g y 8 g por litro. Las sidras maduras con las partículas de los encinos francés y americano fueron estadísticamente similares, y ambas fueron significativamente superiores a la madurada con el encino chino. Entre los tres niveles de tostado, el medio fue el que aportó mayor cantidad de compuestos volátiles. Con respecto a la cantidad de partículas utilizadas, la dosis de 4 g por litro fue la que resultó con mayor aportación a las cualidades de la sidra. Los mejores resultados se obtuvieron con los encinos francés y americano por sus altos niveles de cis/trans lactonas identificados. En resumen el encino chino fue pobremente evaluado (Fan *et al.*, 2006).

El origen geográfico de la madera y el tiempo de maduración, con o sin tostado, tienen un efecto directo sobre la extracción/oxidación de sus componentes de bajo peso molecular durante la maduración de los brandys modificando sus propiedades físicas y químicas finales (Canas *et al.*, 2000; Jordan *et al.*, 2005; Miller *et al.*, 1992).

CONCLUSIONES

Los aguardientes con mayores volúmenes de producción, derivados de granos, azúcares de caña y uva, son originalmente casi neutros, por lo cual requieren ser madurados en contacto con madera de encinos o robles blancos, para que adquieran las cualidades organolépticas deseables que caracterizan a los whiskys, rones y brandys, respectivamente.

De manera similar, los vinos mejoran significativamente su calidad con el proceso de maduración o crianza al contacto con este tipo de madera.

Las cualidades deseables adquiridas por los aguardientes y vinos durante su maduración resultan de la interacción de las soluciones alcohólicas con los compuestos naturales de la madera, pero también con los compuestos generados por el tostado de la madera, requerido para la fabricación de las barricas o aplicado a otros productos que actualmente se están usando como opciones menos costosas que las barricas.

La identificación de las propiedades y composición química de la madera de otras especies de encinos blancos y de otras fagáceas, así como el conocimiento de sus interacciones con los líquidos en maduración puede contribuir al uso de los encinos blancos mexicanos para este fin, y ser una opción para su revalorización como materia prima y para justificar económicamente su manejo como especie forestal.

REFERENCIAS

Anónimo. 2003a. Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-1994. Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones. Publicada en DOF el 12 de junio de 1997. 5 p.

- Anónimo. 2003b. Lesson III. From white to gold: modern alchemy. Documento digital disponible en www.rumuniversity.com. Consultado 15 de marzo de 2006. 12 p.
- Anónimo. s.f. Composition of oak. White Paper World Cooperage. 8 p.
- Arapitsas, P.; A. Antonopoulos; E. Stefanou; V.G. Dourtoglou. 2004. Artificial aging of wine using oak chips. *Food Chemistry*. 86(4): 563-570.
- Cacho P., J. 2006. Estudio comparativo del perfil volátil del vino tinto durante su crianza en barricas de roble. *Enología*. 72. Revista digital disponible en www.acenologia.com\ciencia76_1. Consultada 11 de noviembre de 2006.
- Cadahia F., E.; B. Fernández de Simón, B. 2004. Utilización del roble español en el envejecimiento de vinos. Comparación con roble francés y americano. Monografía Especial No. 10. INIA. Madrid, España. 136 p.
- Cadahia F., E.; B. Fernández de Simón; J. Jalocha. 2003. Volatile compounds in Spanish, French, and American oak woods after natural seasoning and toasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(20):5923-5932.
- Cadahia F., E.; L. Muñoz, B. Fernández de Simón; M.C. García-Vallejo. 2001a. Changes en low molecular weight phenolic compounds en Spanish, French, and American oak woods during natural seasoning and toasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(4):1790-1798.
- Cadahia F., E.; M S. V. Varea; L. Muñoz, B. Fernández de Simón F.; M.C. García-Vallejo. 2001b. Evolution of ellagitannins in Spanish, French, and American oak woods during natural seasoning and toasting. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 49(8):3677-3684.

- Caldeira, I.; A.P. Belchoir; M.C. Climaco; R.B. de Souza. 2002. Aroma profile of Portuguese brandies aged in chestnut and oak woods. *Analytica Chimica Acta*. 458(1):55-62.
- Canas, S.; M.C. Leandro; M.I. Spranger; A.P. Belchoir. 2000. Influence of botanical species and geographical origin on the content of low molecular weight phenolic compounds of woods used in Portuguese cooperage. *Holzforshung*. 54(3):255-261.
- Cendoya, R. 2003. ¿Qué hay detrás de una barrica? *Terruños*. 7:7-9. (Revista digital disponible en www.culturadelvino.org/02_actividades/terrunos_07.php. Consultada 24 de agosto de 2007).
- Chatonnet, P.; D.Dubourdieu. 1998. Comparative study of the characteristics of American white oak (*Q. alba*) and European oak (*Q. robur*) for production of barrels used in barrel aging of wines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 49:79-85.
- Chatonnet, P.; M.Ricardo-da Silva; D.Dubourdieu. 1997. Influence de l'utilisation de barriques en chene sessile européen (*Quercus petraea*) ou en chene blanc américain (*Quercus alba*) sur la composition et la qualite des vins rouges. *Rev. Franc. D'Oneol*. 165:44-48.
- Cottrell, T. 2003. The flavor of American oak. *Wine Bussiness Newly*. Documento digital disponible en www.winebussiness.com. Consultado 11 de agosto de 2006. 1 p.
- Day, C. 2003. Oak with cooperage, it's personal. *Wine Industry Journal*. 18(5):46-48.

- del Álamo S., M. 2006. Sistemas alternativos al envejecimiento en barrica. *Enología*. 74: 6 p. Revista digital disponible en www.acenologia.com/ciencia76_03. Consultada 11 de noviembre de 2006.
- del Álamo S., M.; I. Nevarez D.; S. García M. 2004a. Influence of different aging systems and oak woods on aged wine color and anthocyanin. *Europe Food Research and Technology*. 219:124-132.
- del Álamo S., M.; J.A. Fernández E.; R. de Castro T. 2004b. Changes in phenolic compounds and colour parameters of red wine aged with oak chips and in oak barrels. *Food Science and Technology International*. 10(4):233-241.
- Dias, S.; A. Maia; D. Nelson. 1998. Efeito de diferentes madeiras sobre a composicao da aguardiente de cana envelhecida. *Ciencia e Tecnologia de Alimentos*. 18(3). 8 p.
- Díaz-Plaza E.M.; J.R. Reyero; F. Pardo; G.L. Alonso; M.R. Salinas. 2002. Influence of oak wood on aromatic composition and quality of wines with different tannin contents. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(9):2622-2626.
- Domine, A. 2001. *El vino*. Könemann. Colonia, Alemania. 928 p.
- Doussot, F.; B. de Jéso; S. Quideau; P. Pardon. 2002. Extractives content in cooperage oak wood during natural seasoning and toasting; influence of tree species, geographic location, and single-tree effects. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(21):5955-5961.
- Fan, W., Y. Xu; A. Yu. 2006. Influence of oak chips geographical origin, toast level, dosage and aging time on volatile compounds of apple cider. *Journal of Institute of Brewer*. 112(3): 255-263.

- Faria, J.B.; H.M.A.B. Cardello; M. Boscolo; W.D. Isique; L. Odello; D.W. Franco. 2003. Evaluation of Brazilian woods as an alternative to oak for cachaças aging. *Europe Food Research and Technology*. 218:83-87.
- Fernández de Simón, B.; E. Cadahia; E. Conde; M.C. Garcia-Vallejo. 1999a. Ellagitannins in woods of Spanish, French and American oaks. *Holzforschung*. 53:147-150.
- Fernández de Simón, B.; E. Cadahía; E. Conde; M.C. García Vallejo. 1999b. Evolution of phenolic compounds of Spanish oak wood during natural seasoning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(4):1687-1694.
- Fernández de Simón, B.; E. Cadahia; J. Jalocha. 2003a. Volatile compounds in a Spanish red wine aged in barrels made of Spanish, French, and American oak wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(26):7671-7678
- Fernández de Simón, B.; T. Hernández; E. Cadahía; M. Dueñas; I. Estrella. 2003b. Phenolic compounds in a Spanish red wine aged in barrels made of Spanish, French and American oak wood. *Europe Food Research and Technology*. 216:150-156.
- Feuillat, F.; L. Moio; E Guichard; M Marinov; N. Fournier; J.-L. Puech. 1997. Variation in the concentration of ellagitannins and *cis*- and *trans*- β -methyl- γ -octalactone extracted from oak wood (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) under model wine cask conditions. *American Journal of Enology and Viticulture*. 48:509-515.
- Feuillat, F.; R. Keller. 1997. Variability of oak wood (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.) anatomy relating to cask properties. *American Journal of Enology and Viticulture*. 48:502-508.

- Feuillat, F.; R. Keller; F. Sauvageot; J.-L. Puech. 1999. Characterization of French oak cooperage (*Quercus robur* L., *Quercus petraea* Liebl.). Research of the study group on barrel-aging Burgundy wines. *American Journal of Enology and Viticulture*. 50:513-518.
- Giménez M., R.; H. López G. de la S.; M. Villalón M.; M. Navarro A.; M. Olalla H.; C. Cabrera V.; M.C. López M. 2001. Study of vanillin, syringaldehyde and gallic acid content in oak wood and wine spirit mixtures: influence of heat treatment and chip size. *Journal of Wine Research*. 12(3):175-182.
- Giménez M., R.; H. López G. de la S.; M. Villalón, J. Quesada G., y M.C. López M. 1996. Influence of wood heat treatment, temperature and maceration time on vanillin, syringaldehyde and gallic acid. Contents in oak wood and wine spirit mixture. *American Journal of Enology and Viticulture*. 47:441-446.
- Hoffman, M.A. s.f. *Whisky*. Parragon. New York. USA. 320 p.
- Hueso, J.A. 2002. *Prontuario de la barrica*. Documento Interno. www.tonelera.victoria.com.es. Consultado 19 de abril de 2005. 31 p.
- Jordan, A.M.; J.M. Ricardo-da Silva; O. Laureano. 2005. Comparison of volatile composition of cooperage oak wood of different origins (*Q. pyrenaica* vs *Q. alba* and *Q. petraea*). *Mitteilungen Klosterneuburg*. 55:2-33.
- Kraus, E.C. 2003. Using oak chips to age your wine. *Winemaking articles*. Documento digital disponible en www.eckraus.com/home-wine-oak-chips.html. Consultado 10 de marzo de 2005. 1 p.
- Lerner, D. 1997. *Whisky escocés y de malta*. Kónemann. Köln, Alemania. 184 p.

- Lumsden, B. 2006. The wood makes the whisky. The Scotch Malt Whisky Society. Documento electrónico disponible en www.smws.co.uk/archives/article.php?id_article=33, consultado el 12 de julio de 2008. 1 p.
- Marco, J.; J. Artajona; M.S.Larrechi; F.X. Rius. 1994. Relationship between geographical origin and chemical composition of wood for oak barrels. *American Journal of Enology and Viticulture*. 45:192-200.
- Masson, G.; M. Moutounet; J.L. Puech. 1995. Ellagitannin content of oak wood as a function of species and of sampling position in the tree. *American Journal of Enology and Viticulture*. 46:262-268.
- Matricardi, L.; A.L. Waterhouse. 1999. Influence of toasting technique on color and ellagitannins of oak wood in barrel making. *American Journal of Enology and Viticulture*. 50:519-526.
- McLean, C. 2006. The single cask. The Scotch malt whisky society. Documento electrónico disponible en www.smws.co.uk/archives/article.php?id_article=37, consultado el 6 de julio de 2007. 2 p.
- Miller, D.P.; G.S. Howell; C.S. Michaelis; D.I. Dickmann. 1992. The content of phenolic-acid and aldehyde flavor components of white oak as affected by site and species. *American Journal of Enology and Viticulture*. 43(4):333-338.
- Miller, R.B. 1999. Characteristics and availability of commercially important woods. In: Anonymous. Wood handbook. Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI. U.S. Forest Products Laboratory, Forest Service, Department of Agriculture. 463 p.

- Montero, J. 2002. Cooper comparisons. An objective estudio. Bouchard Cooperages New Zealand. Disponible en www.bouchardcooperages.com. Consultado 26 agosto de 2006.
- Morales, M.I.; B. Benítez; A.M. Troncoso. 2004. Accelerating aging of wine vinegras with oak chips: evaluation of wood flavour compounds. Food Chemistry. 88(2):305-315.
- Mosedale, J. R.; A. Ford. 1996. Variation of the flavour and extractives of European oak wood from two French forests. Journal of Science of Food and Agricultural. 70:273-287.
- Mosedale, J. R.; F. Feuillat; R. Baumes; J.-L. Dupouey; J.-L. Puech. 1998. Variability of wood extractives among *Quercus robur* and *Quercus petraea* trees from mixed stands and their relation to wood anatomy and leaf morphology. Canadian Journal of Forest Research. 28:1-23.
- Mosedale, J. R.; J.-L. Puech; F. Feuillat. 1999. The influence on wine flavor of the oak species and natural variation of heartwood components. American Journal of Enology and Viticulture. 50:503-512.
- Muñoz, P. 2006. Alternativas a la crianza en barrica. Enología. 72. 7 p. Revista digital disponible en www.acenologia.com/ciencia76_2.htm. Consultada 9 de noviembre de 2006.
- Navarro, O. 2007. La madera-barricas. Disponible en <http://charlassobrevinostodo.sobreelvino.blogspot.com/2007/09/la-madera-barricas.html>. Consultado 27 de agosto de 2007. snp.

- Panshin, A.J.; C. deZeeuw. 1980. Textbook of wood technology. Structure, identification, properties, and uses of the United States and Canada. McGraw-Hill Book Co. New York. 722 p.
- Peng, S.; A. Scalbert; B. Monties. 1991. Insoluble ellagitanins in *Castanea sativa* and *Quercus petraea* woods. *Phytochemistry*. 30:775-778.
- Pérez Coello, M.S.; M.A. González-Viñas; E. Garcia-Romero; M.D. Cabezudo; J. Sanz. 1999. Chemical and sensory changes in white wines fermented in the presence of oak chips. *International Journal of Food Science and Technology*. 35:23-52.
- Pérez-Coello, M.S.; M.A. Sánchez; E. García; M.A. González-Viñas; J. Sanz; M.D. Cabezudo. 2000. Fermentation of white wines in the presence of wood chips of American and French oak. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(3):885-889.
- Pérez-Prieto, L.J.; J.M. López-Roca; A. Martínez-Cutillas; F. Pardo M.; E. Gómez-P. 2002. Maturing wines in oak barrels. Effects of origin, volume, and age of the barrel on the wine volatile composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 50(11):3272-3276.
- Quesada G., J.; M. Villalón M.; M.C. López M.; M.E. Fernández. 2001. Factores que condicionan la presencia de cumarinas en bebidas alcohólicas envejecidas en barril de roble. *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*. 320: 127-136.
- Ramírez P., M.D. s.f. La industria de la tonelería de Montilla. Evolución histórica y perspectivas de futuro. Imprenta San Francisco Solano (Montilla). Córdoba. España. 149 p.

- Rogers, B. 2002. Renewing oak flavors with inserts, oak chips and remanufacturing. The Australian & New Zealand Grapegrower & Winemaker. Issue of July. www.grapeandwine.com.au/allissues.htm. Consultado 18 de abril de 2005.
- Sauvageot, F.; F. Feuillat. 1999. The influence of oak wood (*Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl.) on the flavor of Burgundy Pinot noir. An examination of variation among individual trees. American Journal of Enology and Viticulture. 50:447-455.
- Snakkers, G.; G. Nepveu; E. Guilley; R. Cantagrel. 2000. Geographic, silvicultural and individual variabilities of extractive content for French sessile oaks (*Quercus petraea* Liebl.): polyphenols, octalactones and volatile phenols. Annals of Forest Science. 57(3):251-260.
- Stevensson, T. 1997. The new Sotheby's wine encyclopedia. Dorling Kindersley. Londres. 600 p.
- Villarán, M.C.; I. López de Armentia; S. Quintela, S.; Elejalde, E. sf. Caracterización química de virutas de madera de roble para su utilización en la elaboración de vino. Memorias XXX Congreso Mundial de la uva y el vino. Budapest, Hungría. 3 p
- Vivas, N.; I. Pianet; G. Bourgeois; C. Vitry; C. Servens; Y. Glories. 1998. Characterization of heartwood lignin fractions from *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* (Matt) Liebl., the main oak species used for barrel making. American Journal of Enology and Viticulture. 49: 49-55.
- Vivas, N.; Y. Glories. 1996. Role of oak wood ellagitannins in the oxidation process of red wines during aging. American Journal of Enology and Viticulture. 47:103-107.

Walker, L. 1996. Mystique of oak chips - use of oak chips en wine production. Wine and Wines. Documento digital consultado 31 de enero de 2006. 1 p.
www.worldcooperage.com/pages/product_barrels_octave.html. Consultada 10 de abril de 2005.

Zamora M., F. 2005. Los aromas que el roble aporta al vino; influencia del grado de tostado de las duelas. Enólogos. 35. snp.

Phillips, C. 2007. Fire, Water and Oak- How Barrels are Toasted. Wine Bussines Monthly. Revista digital disponible en www.winebusiness.com/wbm/?go=getArticle&dataId=4846220110119. Consultada 20 de enero de 2011. 6 p.

www.killerby.com.au. sf. Rituals of Wine: Fascination. Seven Essential Things to Know About Oak in West Australian Wine. Disponible en www.killerby.com.au/rituals_oak.htm. Consultado el 20 de enero de 2011. snp.

Composición química y densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encino blanco de la Sierra de Álvarez, SLP, México

Chemical composition and relative basic density of two shrub white oak wood species from the Sierra de Álvarez, SLP, México

Guadalupe M. Bárcenas-Pazos¹, Rosalva Ríos-Villa²,
J. Rogelio Aguirre-Rivera³, Bertha I. Juárez-Flores³
y J. Amador Honorato-Salazar⁴

RESUMEN

En la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, se han identificado 18 especies de encinos; de ellas, *Quercus sebifera* y *Q. tinkhami* son de hábito arbustivo y pertenecen a la sección *Quercus* o encinos blancos. A la fecha se desconocen estudios sobre las características de su madera, la cual sólo se aprovecha localmente en forma reducida y rudimentaria. En este trabajo se presenta su caracterización química. Se evaluaron los contenidos relativos de lignina, extractos y cenizas, así como la densidad básica relativa y el contenido de celulosa. Se calcularon los estadísticos básicos para cada componente y se realizó un análisis de varianza entre especies para cada parámetro estimado. La cantidad de celulosa y lignina de ambas especies fue estadísticamente similar ($p > 95\%$); además, los valores obtenidos coinciden con los presentados por otros autores para encinos mexicanos. La cantidad de cenizas fue mayor que lo publicado para especies mexicanas del mismo género, lo cual posiblemente se deba a las condiciones de crecimiento de estas especies, particularmente el clima y el tipo de suelo. Sólo los contenidos de extractos de *Q. sebifera* con la mezcla etanol-benceno y con agua caliente fueron mayores que los registrados para otros encinos blancos. El contenido de extractos fue estadísticamente mayor en *Q. sebifera*. La riqueza de cenizas y extractos de estas especies parece estar relacionada con su adaptación a las condiciones de aridez en las que crecen. La densidad básica relativa de *Q. sebifera* es media y la de *Q. tinkhami*, es alta.

PALABRAS CLAVE:

Composición química, extractos, madera de encino, *Quercus*, San Luis Potosí.

- 1 Programa Multidisciplinario de Posgrado en Ciencias Ambientales, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200. Fracc. del Llano. 78377 San Luis Potosí, SLP. Unidad de Recursos Forestales, Instituto de Ecología, A.C., Xalapa, Ver. Correo electrónico: guadalupe.barcenas@inecol.edu.mx.
- 2 Posgrado en Ciencias Biomédicas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
- 3 Instituto de Investigación de Zonas Desérticas, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200. Fracc. del Llano. 78377 San Luis Potosí, SLP.
- 4 INIFAP Campo Experimental San Martinito, Centro de Investigación Regional Centro. Km. 56.5 Carretera Federal México-Puebla, San Martinito. Tlahuapan, Municipio Tlahuapan, Puebla. CP 74100.

ABSTRACT

In the mountain range of Álvarez, San Luis Potosí eighteen oak species have been identified; two of them (*Quercus sebifera* and *Q. tinkhami*) included into the *Quercus* section or white oaks are shrubs. Currently, studies are not known on the wood characteristics of these species, which are only used locally in a reduced and rudimentary way. Their chemical composition is presented here. Essays to estimate relative content (%) of lignin, extracts and ashes were carried out; specific gravity was also calculated along with volume of cellulose. Basic statistics were estimated for each parameter obtained. Variance analyses were applied between the essays sets of cellulose, lignin, ash, and extracts. Not significant differences ($p > 95\%$) were found between species for cellulose and lignin. These results were similar to those presented by other authors for Mexican oaks. Ash volume resulted to be greater; it may be due to their particular climate and soil type, mainly. The extracts of *Q. sebifera* obtained by the ethanol-benzene mixture and by hot water were greater than those published for white oaks. These species were different ($p > 95\%$) for extract content. Ash and extracts richness of these species seems to be related to their aridity adaptations. Relative basic density values for *Q. sebifera* were medium and high for *Q. tinkhami*.

KEYWORDS:

Chemical composition, extracts, oakwood, *Quercus*, San Luis Potosí.

INTRODUCCIÓN

En México, en nivel de género, los encinos son considerados como el segundo recurso forestal maderable más importante después del género *Pinus* (Rzedowski, 2006 y Nixon, 1993). La madera de encino posee un valor muy alto como materia prima cuando es procesada adecuadamente; sin embargo, debido a su dureza, su distribución geográfica menos homogénea que la de los pinos y la variabilidad específica en sus características tecnológicas, su uso

más común aún es como combustible (García, 1995 y Zavala, 1990).

Un argumento utilizado reiterativamente para justificar el desuso de la madera de encino en productos con mayor nivel de proceso, es el desconocimiento de sus cualidades y reacciones, además de su variabilidad en dependencia de la zona geográfica donde es cortada (De la Paz, 2000). En México se cuenta con información, particularmente sobre su ecología y distribución, sobre varias especies de encinos (Carter, 1953; Martínez, 1981; Nixon, 1993 y Valencia, 2004).

Sobre las características tecnológicas de la madera de encinos, De la Paz (2000) estableció la relación entre las características anatómicas y las propiedades físicas y mecánicas de la madera de 24 especies de encinos, 16 de ellos rojos y ocho blancos. Quintanar (2002) publicó una recopilación de diversos trabajos sobre taxonomía, distribución, aprovechamiento y usos actuales, características anatómicas, propiedades físico-mecánicas, composición química, índices de rendimiento y calidad de fibra para pulpa, durabilidad, aserrío, secado y maquinado de la madera de 31 especies de encinos rojos y 16 de encinos blancos.

La composición química de la madera de los encinos mexicanos se ha estudiado sólo para unas pocas especies y en aspectos generales y específicos, que van desde el pH hasta la caracterización de algunos compuestos químicos de la madera y de la corteza, según lo resumido por Honorato (2002). Así, Delgado (1980) estimó el contenido de cenizas, extractos con agua caliente y con etanol-benceno, así como α -celulosa y hemicelulosa en la madera de dos especies de encino rojos (*Q. laurina* y *Q. candicans*) y dos blancos (*Q. resinosa* y *Q. obtusata*) del estado de Jalisco; el porcentaje de

lignina lo calculó por diferencia. Fuentes (1980) determinó el contenido de carbohidratos estructurales, extractos con etanol-benceno y lignina de la madera del fuste y de las ramas de *Quercus resinosa*, otro encino blanco también del estado de Jalisco.

En la madera de dos especies de encinos rojos (*Q. laurina* y *Q. candicans*) provenientes del estado de Michoacán, Rutiaga et al. (2000 a y b) estimaron los porcentajes de lignina, carbohidratos estructurales y cenizas, y cuantificaron el porcentaje de extractos con tres disolventes, éter de petróleo, acetona y metanol. Por su parte, Bárcenas (2002) analizó el efecto de la lignina y los extractos removidos con disolventes orgánicos sobre dos propiedades físicas de la madera de varias especies; una de ellas fue el encino rojo *Q. laurina*.

Bautista y Honorato (2005) estudiaron la composición química de la madera de *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia* y *Q. rugosa* recolectados en el estado de Guanajuato, y de *Q. oleoides* proveniente del centro del estado de Veracruz. Los dos primeros son encinos rojos y las otras dos especies son encinos blancos. En todos los casos, menos para lignina, los encinos blancos presentaron valores mayores de los componentes estudiados.

En general, los valores de alfa celulosa publicados para la madera de encinos mexicanos van de 37% a 56%, de hemicelulosas de 22% a 30% y de lignina de 8% a 22%. Para las holocelulosas (celulosa y hemicelulosas) se han encontrado valores de 60% a 82%; específicamente para hemicelulosas, formadas básicamente por pentosas, se han registrado contenidos de 18% a 23% (Honorato, 2002). La cantidad de celulosa presente en la madera de los encinos mexicanos estudiados, es mayor que la registrada en las especies de

otros países, mientras que en los otros compuestos son similares (Honorato, 2002).

Con respecto a los componentes menores, la cantidad relativa de cenizas en la madera de los encinos mexicanos oscila entre 0,32% y 1,38%; la de sílice varía de 0,0025% a 0,0093%; la de extractos con agua caliente varía de 4,61% a 10,00%, con etanol-benceno de 1,14% a 7,21% y con hidróxido de sodio al 1% de 20,89% a 26,00%; y el contenido de taninos varía desde 0,59% hasta 33,40% (Honorato, 2002).

Las especies de encino que crecen en la sierra de Álvarez de SLP, han sido identificadas y estudiadas, ecológicamente (García, 1995; García et al.; 1999, García y Aguirre a y b, inéditos; Ramírez, 2000; Castillo, 2003 y Castillo et al., 2008), pero sobre las características de su madera se desconocen antecedentes, particularmente sobre las dos especies arbustivas consideradas en este trabajo.

OBJETIVO

Cuantificar los componentes químicos y determinar la densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encinos blancos (*Q. tinkhami* C.H. Müll. y *Q. sebifera* Trel.) de la sierra de Álvarez, SLP.

MATERIALES Y METODOS

Recolección de material

Las muestras de las especies estudiadas se recolectaron en la sierra de Álvarez, área natural declarada para protección forestal y refugio de fauna silvestre (Figura 1). Este sistema oro-gráfico está localizado al sureste de la capital del estado San Luis Potosí, y se extiende en dirección NO-SE, con altitudes de

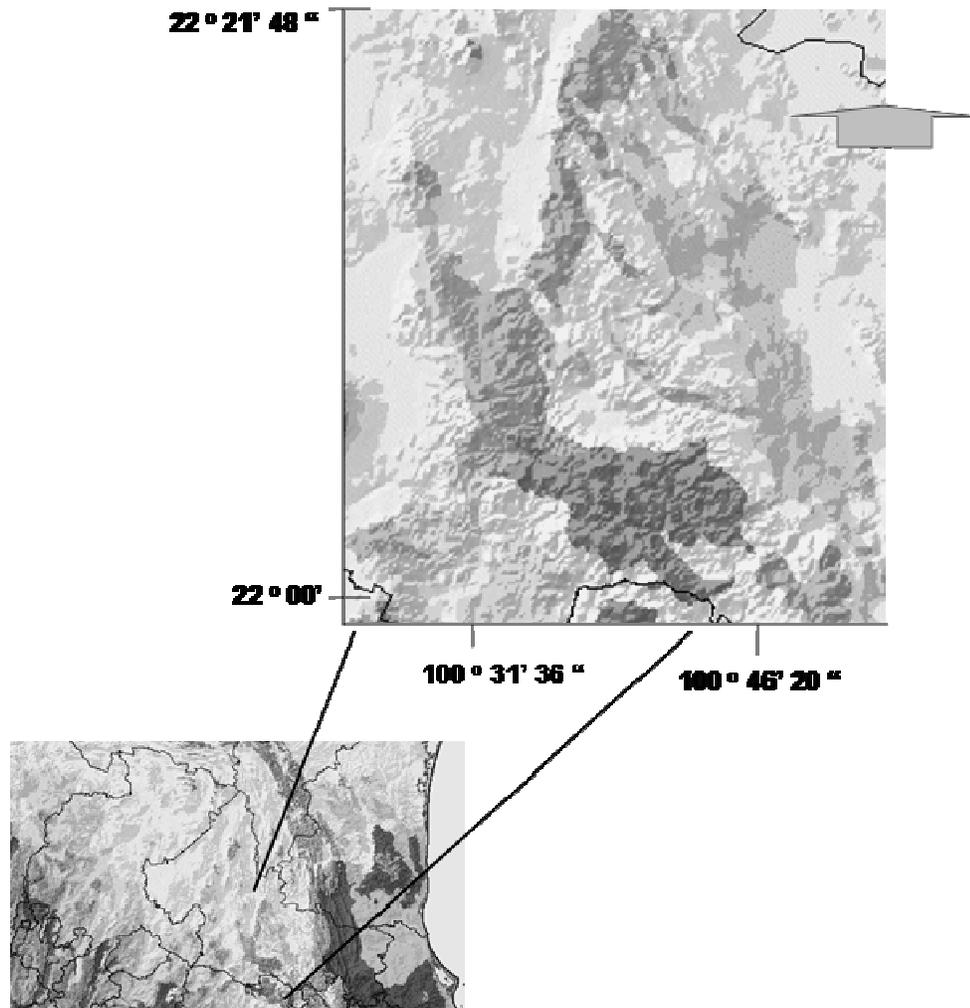


Figura 1. Ubicación de la sierra de Álvarez, SLP

2 000 a 2 700 msnm. Este sistema y las serranías que le suceden hacia el norte forman un límite natural entre la cuenca del valle de San Luis Potosí y la cuenca de Rioverde (García *et al.*, 1999). En la sierra de Álvarez predomina un clima semiseco templado con lluvias en verano, del tipo BS1 kw (García, 1988), con precipitación media anual de 366 mm a 571 mm, un porcentaje de lluvia invernal entre 5,0% y 10,2%, y la cantidad de lluvia del

mes más húmedo de la mitad caliente del año es por lo menos diez veces mayor que la del mes más seco. La temperatura media anual es de 17°C a 18°C, y sus variaciones diarias son de - 3°C a 18°C en el mes más frío (García *et al.*, 1999). Se registran dos temporadas al año, la seca de noviembre a abril y la lluviosa, de mayo a octubre; los meses de precipitación abundante coinciden con los meses de temperaturas más elevadas (Ramírez,

2000). La sierra está formada predominantemente por rocas sedimentarias (calizas y lutitas), pero en la porción sur hay manchones de rocas ígneas. Predominan los suelos de tipo litosol éutrico (García *et al.*, 1999).

Se recolectaron tallos de dos individuos de *Q. tinkhami* en la comunidad de San José de Magaña, y de tres individuos de *Q. sebifera*, a un lado del camino hacia la comunidad de El Pato, ambos pertenecientes al municipio de Armadillo de los Infante en la sierra de Álvarez, SLP. Las dos especies recolectadas pertenecen a la sección *Quercus* (Valencia, 2004) o encinos blancos. De cada especie se recolectó material botánico como ejemplares botánicos de respaldo, los cuales se procesaron y depositaron en el

Herbario Isidro Palacios (SPLM) del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí.

La descripción general de las especies recolectadas en la sierra de Álvarez es la siguiente (García y Aguirre a, inédito):

Quercus tinkhami C.H. Müll. (Figura 2) Nombre común encino chaparro. Arbustos caducifolios de aproximadamente 3,0 m de alto, con tallos hasta de 8,0 cm de diámetro, de rectos a torcidos. Su hábitat, en la sierra de Álvarez, SLP es el bosque de galería y el bosque subhúmedo de encino, sobre sustratos de origen sedimentario e ígneo



Figura 2. *Quercus tinkhami* C. H. Müll



Figura 2. *Quercus sebifera* Trel.

Q. sebifera Trel. (Figura 3) Nombre común, encino. Arbustos caducifolios de aproximadamente 3,0 m de altura, tallos con diámetros hasta de 15,0 cm, rectos a ligeramente torcidos. En la sierra de Álvarez, SLP, su hábitat es el bosque de encino y crece en sustratos de origen sedimentario.

Preparación del material

Los tallos recolectados se identificaron con un número consecutivo; luego se descortezaron y se procesaron para volverlos astillas antes de que se redujera considerablemente el contenido de humedad de su madera. Posteriormente, las muestras hechas astillas se secaron al aire libre, hasta que su contenido de humedad se equilibró con el ambiente. Enseguida se pulverizaron en

un molino Wiley para homogeneizarlas, se tamizaron a través de una malla número 40 y se recolectó lo que quedó retenido en un tamiz con malla número 60. El material seco y tamizado se mantuvo en bolsas selladas para minimizar los cambios en su contenido de humedad, hasta ser analizadas.

Análisis químicos

Para la determinación de los contenidos de celulosa y lignina se removieron las sustancias solubles (extractos) no estructurales mediante una extracción secuencial con disolventes con un gradiente creciente de polaridad, de acuerdo con lo establecido en la norma *Preparation of extractive free-wood*, TAPPI Test Method T 257 cm-85 (TAPPI, 1998). La muestra extraída se dejó secar

al aire libre hasta que su humedad se estabilizara con la humedad ambiental; entonces se guardó en un recipiente sellado, para minimizar sus cambios de humedad, hasta que se realizaran las determinaciones de celulosa y lignina.

El contenido de humedad (CH) de las muestras se estimó antes de cada ensayo, de acuerdo con lo establecido en la norma *Preparation of extractive free-wood*, TAPPI Test Method T 257 cm-85 (TAPPI, 1998). El método utilizado para determinar el contenido relativo de celulosa fue el desarrollado por Kuschener y Hoffer en 1929 (Browning, 1967). El contenido de lignina se realizó siguiendo lo establecido en la norma *Acid in soluble lignin in wood and pulp*, TAPPI Test Method T 222 om-88 (TAPPI, 1998). El contenido de cenizas se determinó de acuerdo con lo que establece la norma *Ash in wood*, TAPPI Test Method T211 om-85 (TAPPI, 1998). Para la determinación de los extractos con agua caliente y con etanol-benceno se usaron las normas *Water solubility of wood and pulp*, TAPPI Test Method T 207 om-88 y *Solvent extractives of wood and pulp*, TAPPI Test Method T 204 om-88 (TAPPI 1998), respectivamente.

Para ambas especies se determinó la densidad básica relativa (DR), de acuerdo con lo establecido por la norma ASTM D-2395-94, Método B. De cada especie se seleccionaron cinco especímenes y se registró su volumen verde, esto es madera recién derribada (VV). Posteriormente, se secaron al aire bajo sombra y luego en horno eléctrico a $105^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$, hasta que alcanzaron peso constante en dos pesadas consecutivas, con lo cual se obtuvo su peso anhidro (PA). Los valores de densidad básica están relacionados con la densidad del agua, por lo que carecen de unidades.

Todas las estimaciones químicas se hicieron en dos ensayos independientes con cuatro repeticiones. Para establecer la significación de las diferencias entre las dos

especies se aplicó una prueba de F (análisis de varianza, $p < 0.05$) a los resultados obtenidos para cada atributo evaluado.

RESULTADOS

Los resultados de los ensayos químicos para los compuestos estructurales y cenizas se presentan en la Tabla 1. Los resultados obtenidos para los extractos se presentan en la Tabla 2, así como los valores de densidad básica relativa.

En cuanto a que es celulosa, el compuesto estructural más abundante de la madera, el contenido relativo en *Q. tinkhami* (43,37%) fue estadísticamente similar al de *Q. sebifera* (45,72%) (Tabla 1). Menores diferencias aun se encontraron en el contenido de lignina (*Q. tinkhami*, 21,02% y *Q. sebifera*, 21,47%). En cambio, el contenido de cenizas de *Q. tinkhami* (2,67%) fue estadísticamente menor que el de *Q. sebifera* (3,22%) (Tabla 1).

Con respecto a los extractos, los que se obtuvieron con agua caliente fueron más abundantes que los separados con la mezcla de disolventes orgánicos (Tabla 2). A la vez, en ambos casos se registraron diferencias significativas entre especies. Así, los porcentajes de extractos con agua caliente en la madera de *Q. tinkhami* (7,67) y en la de *Q. sebifera* (9,16) superaron significativamente a los de *Q. tinkhami* (4,50) y *Q. sebifera* (6,13) obtenidos con la mezcla de disolventes. A la vez, el contenido relativo de extracto acuoso en la madera de *Q. sebifera* (9,16%) fue estadísticamente mayor que el de *Q. tinkhami* (7,67%), y el contenido de extractos con disolventes de *Q. sebifera* (6,13%) también superó significativamente al de *Q. tinkhami* (4,50%) (Tabla 2). La densidad relativa (pa/vv) de *Q. thinkamii* (0,735) fue significativamente mayor que la de *Q. sebifera* (0,678).

Tabla 1. Contenido (%) de celulosa, lignina y cenizas de la madera de dos especies arbustivas de encino, *Quercus tinkhami* (Qt) y *Quercus sebifera* (Qs), de la sierra de Álvarez, SLP (n = 8).

	Celulosa		Lignina		Cenizas	
	Qt	Qs	Qt	Qs	Qt	Qs
Media	48,37 a	45,71 a	21,02 a	21,47 a	2,67 a	3,22 b
Desv. est.	4,35	3,50	0,44	0,90	0,12	0,10

Los resultados con letras iguales son estadísticamente similares

Tabla 2. Extractos de la madera (%) de dos especies arbustivas de encino, *Quercus tinkhami* (Qt) y *Quercus sebifera* (Qs), de la sierra de Álvarez, SLP (n = 8).

	Extractos con agua caliente		Extractos con alcohol-benceno		Densidad básica relativa	
	Qt	Qs	Qt	Qs	Qt	Qs
Media	7,67 ac	9,19 ad	4,50 bc	6,13 bd	0,735 a	0,678 b
Desv. est.	0,33	0,39	0,20	0,28	0,04	0,02

Los resultados con letras iguales son estadísticamente similares

DISCUSIÓN

Los porcentajes de celulosa y lignina encontrados en la madera de los encinos arbustivos de sierra de Álvarez (Tabla 1), son equiparables con los registrados en general para la madera de encinos mexicanos (Honorato, 2002). Específicamente para los encinos blancos mexicanos Honorato (2002) resume que el intervalo del contenido relativo de celulosa es de 51,94% a 56,43% y que el de lignina es de 19,84% a 22,57%. Los contenidos de celulosa obtenidos son también comparables a los obtenidos por Bautista y Honorato (2005) para dos encinos blancos (*Q. rugosa* del estado de Guanajuato y *Q. oleoides* del estado de Veracruz) 52,94% y 51,68%, respectivamente. Los contenidos relativos de lignina registrados por estos autores son 20,40% y 22,37%, respectivamente. Así, ambas especies estudiadas presentaron contenidos de celulosa y lignina dentro del intervalo obtenido para otros encinos blancos del país. Para algunos encinos blancos de Estados Unidos, usados en tonelería, entre ellos *Q. alba*, Rowell *et al.* (2005) presentan porcentajes de celulosa entre 40% y 47% y de lignina de 24% a 28%, de manera que los valores de celulosa obtenidos de la madera de *Q. sebifera* son similares y los de la madera de *Q. tinkhami* son más altos. En cambio, los valores de lignina de los encinos arbustivos de sierra de Álvarez son menores que los presentados por Rowell *et al.* (2005). Bodirlau *et al.* (2007) en un estudio de la composición química de varias especies maderables, establecieron que el contenido relativo de celulosa y lignina de *Q. robur*, encino blanco europeo usado en tonelería, varía de 42,79% a 45,02% y de 23,32% a 24,82%, respectivamente; así el contenido de celulosa es menor en esta especie que en *Q. sebifera* y *Q. tinkhami*, pero el porcentaje de lignina es mayor en las dos especies mexicanas.

Los contenidos de cenizas registrados en las especies estudiadas (Tabla 1) son mayores que los valores menores que 1,0%, descritos por Honorato (2002) para la madera de varias especies mexicanas de *Quercus*, y a los registrados por Bautista y Honorato (2005) para la madera de *Q. rugosa* (0,45%) y *Q. oleoides* (0,74%). La procedencia de todos los ejemplares cuyos resultados están publicados, es siempre más septentrional que los estudiados en este trabajo. Saka (2001) menciona que en la madera de especies intertropicales, la cantidad de cenizas puede llegar a ser hasta de 5%. Es posible que el contenido de cenizas encontrado se deba a que se trata de encinos meridionales, propios de ambientes subhúmedos a secos. De acuerdo con García y Aguirre (Inédito b), el hábitat de *Q. sebifera* es más seco (lomas y laderas abiertas; sustrato sedimentario) que el de *Q. tinkhami* (bosque de galería y bosques aledaños subhúmedos, sustrato ígneo y sedimentario). Así, el contenido de cenizas estadísticamente mayor de *Q. sebifera* puede representar una adaptación fisiológica a condiciones de potencial hídrico del suelo más restrictivas que las prevalecientes en el hábitat de *Q. tinkhami*. Bautista y Honorato (2005), en contraste, encontraron que para *Q. oleoides*, de clima cálido y húmedo, es más alto el contenido de cenizas, pero siempre menor que 1,0%; sin embargo, esta especie está vinculada a suelos muy restrictivos sobre afloramientos ígneos (Pennington y Sarukhán, 2005). En comparación con los contenidos de cenizas que presentan Rowell *et al.* (2005) para algunos encinos blancos de Estados Unidos (0,3% a 1,2%), los calculados en este estudio son mayores. Esto concuerda con lo señalado por Saka (2001) de que las especies maderables intertropicales presentan mayores contenidos de sustancias inorgánicas que las boreales. En efecto, Bodirlau *et al.* (2007) encontraron en *Q. robur*, porcentajes de

cenizas entre 0,14% y 1,30%, valores menores que los registrados para *Q. tinkhami* y *Q. sebifera*.

Los extractos de la madera son sustancias sin una función estructural completamente conocida; pueden ser grasas, grasas ácidas, alcoholes grasos, fenoles, terpenos, esteroides, resinas ácidas, ceras y otros componentes orgánicos menores (Rowell *et al.*, 2005). En la mayoría de las especies, el porcentaje de los extractos en el peso seco de la madera, es menor que 10%; sin embargo, en algunas puede llegar hasta 30% (Reyes *et al.*, 1987 y FPL, 1999).

Los extractos removibles con disolventes orgánicos incluyen resinas, ácidos grasos y sus ésteres, ceras, sustancias no saponificables, colorantes, hidrocarburos no volátiles, carbohidratos de bajo peso molecular y algunas sales (Saka, 2001). El contenido relativo de extractos con los disolventes orgánicos en la madera de *Q. tinkhamii*, (4,50%) es cercano al punto medio del intervalo (2,79% a 5,24%) recopilado por Honorato (2002), y del encontrado por Bautista y Honorato (2005) (3,05% y 4,82%) para dos encinos blancos, *Q. rugosa* y *Q. oleoides*, respectivamente. En cambio, el porcentaje registrado para *Q. sebifera* (6,13%) supera claramente el límite mayor de dicha amplitud. La diferencia significativa entre la madera de ambas especies (Tabla 2), puede estar igualmente relacionada con la diferencia correspondiente en el contenido de cenizas, esto es, que el mayor contenido de extractos en la madera de *Q. sebifera* contribuye probablemente a generarle una mayor capacidad osmótica y por lo tanto una mayor tolerancia a la aridez (Baeza y Freer, 2001; Braun-Blanquet, 1979 y Weiler, 2004), y que la mayor riqueza de cenizas se relacione también con la posibilidad de la reutilización de los nutrientes de la albura cuando hay

escasa disponibilidad de los mismos en el suelo (Penninckx *et al.*, 2001).

Entre los extractos que son removidos con agua se encuentran carbohidratos solubles, algunos ácidos inorgánicos, materiales fenólicos, y algunas sustancias inorgánicas (Baeza y Freer, 2001). El agua lava algunos compuestos también removibles con disolventes orgánicos (Rowell *et al.*, 2005), lo que sumado a la mayor presencia de sustancias como polisacáridos o flavonoides, los cuales son muy solubles en agua (Browning, 1967), puede explicar la diferencia entre los obtenidos con agua y con los disolventes orgánicos en las maderas de este estudio.

El porcentaje de las sustancias extraídas con agua caliente en la madera de *Q. tinkhami* (7,67) está cerca del límite superior del intervalo para otros encinos blancos mexicanos que resume Honorato (2002) (4,99 a 7,76), y del que registraron Bautista y Honorato (2005) para *Q. rugosa* y *Q. oleoides* (4,97 y 7,97). Asimismo, dicho porcentaje se encuentran dentro del intervalo presentado por Rowell *et al.* (2005) para los encinos blancos estadounidenses (6,0 a 9,0), y por Bodirlau *et al.* (2007) para *Q. robur* (7,56 a 8,12). En cambio, el porcentaje registrado para *Q. sebifera* (9,19) supera claramente todos los valores consignados. Al igual que los extractos con agua caliente, el mayor contenido relativo de los extractos con disolventes orgánicos puede ser una respuesta de adaptación a suelos áridos (Baeza y Freer, 2001; Braun-Blanquet, 1979 y Weiler, 2004).

La densidad relativa de las dos especies (0,735 de *Q. tinkhami* y 0,678 de *Q. sebifera*) está dentro de los valores registrados para otros encinos blancos en el país 0,688 a 0,818 (Bárcenas y Dávalos, 2001); está dentro de los valores de los encinos estadounidenses (0,66 a 0,72)

presentada en FPL (1999) pero es mayor que la de *Q. robur* (0,50 a 0,66), encino blanco europeo (Bodirlaw *et al.*, 2007). De acuerdo con la clasificación de Dávalos y Bárcenas (1999) para maderas mexicanas la densidad de *Q. tinkhami* es muy alta (> 0,700) y la *Q. sebifera* es alta (0,550 a 0,690). La densidad más alta de *Q. tinkhami* se puede atribuir a su mayor densidad de fibras que de vasos o a sus paredes celulares más gruesas (Panshin y DeZeew, 1980) pues sus porcentajes de compuestos estructurales y extractos fueron menores que los de *Q. sebifera*.

Este trabajo constituye una aportación pionera significativa sobre el conocimiento de las características la madera de estas dos especies arbustivas en particular y de las especies de encino de la sierra de Álvarez de San Luis Potosí, que por las condiciones de aridez en las que crecen contrastan con las características de la madera de otras especies del mismo género nativas de climas más húmedos.

CONCLUSIONES

Los contenidos relativos de celulosa, lignina y cenizas en la madera de *Q. tinkhami* fueron 48,37%, 21,02% y 2,67%, respectivamente. Los porcentajes de extractos fueron 7,67% para los removidos con agua caliente y 4,50% con disolventes orgánicos.

Para *Q. sebifera* los porcentajes obtenidos fueron 45,71 de celulosa, 21,47 de lignina, 3,22 de cenizas, 9,19 de extractos con agua caliente, y 6,13 con la mezcla de etanol-benceno.

Los contenidos relativos de celulosa y lignina de *Q. tinkhami* y *Q. sebifera* fueron estadísticamente similares.

Q. sebifera superó estadísticamente a *Q. tinkhami* en contenido relativo de

cenizas y de extractos removidos con agua caliente y con disolventes orgánicos.

Los contenidos de celulosa y lignina de *Q. tinkhami* y *Q. sebifera* son comparables con los publicados para la madera de otras especies de encinos blancos mexicanos y latitudes más septentrionales.

Los contenidos de cenizas y extractos en la madera de *Q. sebifera* son más altos que los registrados para otros encinos blancos mexicanos y de otras latitudes y parecen estar relacionados con su mayor tolerancia a las condiciones de aridez.

La densidad relativa de las dos especies (0,735 de *Q. tinkhami* y 0,678 de *Q. sebifera*) está dentro de los valores registrados para otros encinos blancos en el país; es mayor que la de los encinos estadounidenses y que la de *Q. robur*, encino blanco europeo. La densidad de *Q. tinkhami* es muy alta y la de *Q. sebifera* es alta.

RECONOCIMIENTOS

Este trabajo fue realizado con el financiamiento proporcionado por el Fondo de Apoyo a la Investigación (CO5-FAI-10-24-45) de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y por el Fondo Sectorial CONAFOR-CONACYT 2006-41801 al proyecto "Evaluación de la madera de encino blanco para la maduración de bebidas destiladas".

REFERENCIAS

American Society for Testing Materials. 2002. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-based materials D-2395. Annual

- Book of ASTM Standards, Vol 04.10. Philadelphia, USA. 8 p.
- Baeza J. y J. Freer. 2001. Chemical characterization of wood and its components. In: Hon, D. N. S. y N. Shiraishi (Eds.). Wood and cellulosic chemistry. 2nd ed. Marcel Dekker. New York. pp. 275-384.
- Bárcenas P., G. y R. Dávalos S. 2001. Shrinking values for 106 mexican woods. Journal of Tropical Forest Products 7(2):126-135.
- Bárcenas P., G. M. 2002. Efecto del contenido de lignina, extractos, radios y densidad relativa en las contracciones de cinco especies de madera. Tesis de maestría. Colegio de Posgraduados. Montecillos, Edo. de México. México. 61 p.
- Bautista H., R. y J. A. Honorato S. 2005. Composición química de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. Ciencia Forestal 30(98):25-50.
- Bodirlau, R., I. Spiridion y C. A. Teaca. 2007. Chemical investigation of wood tree species en temperate forest in East Northern Romania. BioResources (2):41-57.
- Braun-Blanquet, J. 1979. Fitosociología. Bases para el estudio de las comunidades vegetales. Ediciones Blume, Madrid. 820 p.
- Browning, B. L. 1967. Methods of wood chemistry. Interscience Publishers. New York. Vol. I. 384 p.
- Carter, A. 1953. Los encinos de Baja California. Boletín de la Sociedad Botánica de México 56:39-42.
- Castillo L., P. 2003. Encinares de sierra de Álvarez, S.L.P.: caracterización y dinámica. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. 122 p.
- Castillo L., P., J. A. Flores C., J. R. Aguirre R. y R. I. Yeaton H. 2008. Dinámica del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. Madera y Bosques 14(1):21-36.
- Dávalos S., R. y G. M. Bárcenas P. 1999. Clasificación de las propiedades mecánicas de las maderas mexicanas en condición seca. Madera y Bosques 5(1):61-69.
- De la Paz P. O., C. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanas. Tesis de Doctorado en Ciencias. Facultad de Ciencias, UNAM, México, D.F. 266 p.
- Delgado F., E. 1980. Estudio analítico de los carbohidratos de cuatro especies de encino. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 104 p.
- Forest Products Laboratory (FPL). 1999. Wood as engineering material. Agricultural Handbook No. 72. Forest Service, US Department of Agriculture. Madison, WI. USA. 387 p.
- Fuentes M., J. G. 1980. Estudio analítico de los carbohidratos de la madera de *Quercus resinosa*. Tesis profesional, Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jalisco, México. 109 p.
- García, E. 1988. Modificaciones al sistema Köppen-García (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana). Larios, México, D.F. 219 p.

- García S., F. 1995. Los encinos del valle de San Luis Potosí. II Seminario Nacional sobre utilización de los encinos. INIFAP/SARH Reporte científico número especial 15 Vol. I. UANL. Linares, Nuevo León. México. pp. 895-930.
- García S., F., J. R. Aguirre R., J. Villanueva D. y J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica* 10:73-103.
- García S., F y J. R. Aguirre R. Los árboles de la sierra de Álvarez, SLP. 230 p. Inédito a.
- García S., F y J. R. Aguirre R. Los arbustos de la sierra de Álvarez, SLP. 1461 p. Inédito b.
- 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. Libro técnico No. 2. INIFAP-CIRCE. Campo experimental Sn. Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 86-106.
- Martínez, M. 1981. Los encinos de México. *Anales del Instituto de Biología*. 2a. ed., Comisión Forestal de Michoacán. México. Serie Técnica No. 8. 358 p.
- Nixon, K. C. 1993. The genus *Quercus* in Mexico. In: T.P. Ramamoorthy, T. P.; R. Bye; A. Lot y J. Fa (Eds.). *Biological diversity in Mexico: origin and distribution*. Oxford University Press. New York. pp. 447-458.
- Panshin, A. J. y C. de Zeeuw. 1980. *Textbook of wood technology. Structure, identification, properties, and uses of the United States and Canada*. McGraw-Hill, New York. 722 p.
- Pennington, T y J. Sarukhán. 2005. Árboles tropicales de México. Manual para la identificación de las principales especies. 3a ed. UNAM/Fondo de Cultura Económica. México, D.F. 523 p.
- Penninckx, V., S. Glineur, W. Gruber, J. Herbauts y P. Meerts. 2001. Radial variation in wood mineral element concentrations: a comparison of beech and pedunculate oak from Belgian Ardennes. *Annals of Forests Science* 58:253-260.
- Quintanar O., J. (Ed.). 2002. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro técnico No. 2. INIFAP- CIRCE. Campo experimental Sn. Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. 194 p.
- Ramírez T., H. M. 2000. Análisis estructural del bosque de encino de la sierra de Álvarez, S.L.P. Tesis profesional, Facultad de Agronomía, Universidad Autónoma de San Luis Potosí. México. 46 p.
- Reyes Ch., R., V. Pérez M. y S. del Ángel B. 1987. Influencia de los extractos en la resistencia natural de seis maderas tropicales al hongo de pudrición morena *Lenzites trabea*. *Biótica* 12(1):7-20.
- Rowell, R. M., R. Pettersen, J. S. Han, J. S. Rowell y M. A. Tshabalala. 2005. Cell wall chemistry. In: Rowell, R. M. (Ed.). *Handbook of wood chemistry and wood composites*. CRC Press, Boca Raton, Florida. USA. pp. 35-74.
- Rutiaga Q., J. G., E. Windeisen y C. Strobel. 2000a. Composición química del duramen de la madera de *Quercus candicans* Neé. *Madera y Bosques* 6(2):73-80.
- Rutiaga Q., J.G., C. Strobel, E. Windeisen y G. Wegener. 2000b. Composición

- química de la madera de un encino. En: Memorias del III Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Durango, Dgo. México. pp. 93-94.
- Saka, S. 2001. Chemical composition and distribution. In: Hon, D. N. S. y N. Shiraishi (Eds.). Wood and cellulosic chemistry. 2nd ed. Marcel Dekker. New York. pp. 51-81.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industries. 1998. Solvent extractives in wood and pulp. TAPPI Test Method T 204 om-88. TAPPI Press. Atlanta, Georgia. USA. 3 p.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industries. 1998. Water solubility of wood and pulp. TAPPI Test Method T 207 om-88. TAPPI Press. Atlanta, Georgia. USA. 2 p.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industries. 1998. Ash in wood and pulp. TAPPI Test Method T 211 om-85. TAPPI Press. Atlanta, Georgia. USA. 2 p.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industries. 1998. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. TAPPI Test Method T 222 om-88. TAPPI Press. Atlanta, Georgia. USA. 3 p.
- Technical Association for the Pulp and Paper Industries. 1998. Preparation of extractive free-wood. TAPPI Test Method T 257 om-88. TAPPI Press. Atlanta, Georgia. USA. 4 p.
- Valencia A., S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. Boletín de la Sociedad Botánica de México 75:33-53.
- Weiler, E. W. 2004. Fisiología del metabolismo. In: Sitte, P.; E. W. Weiler; J. W. Kadereit; A. Bresinsky y C. Korner. Strasburger Tratado de Botánica. 35a ed. Ed. Omega. España. pp: 223-359.
- Zavala Ch., F. 1990. Los encinos mexicanos: un recurso desaprovechado. Ciencia y Desarrollo 16(95): 43-51.

Manuscrito recibido el 10 de enero del 2008

Aceptado el 14 de junio del 2008

Este documento se debe citar como:

Bárcenas-Pazos, G. M., R. Ríos-Villa, J. R. Aguirre-Rivera, B. I. Juárez-Flores y J. A. Honorato-Salazar. 2008. Composición química y densidad básica relativa de la madera de dos especies arbustivas de encino blanco de la Sierra de Alvarez, SLP, México. Madera y Bosques 14(3):81-94.

5. EVALUACIÓN TECNOLÓGICA DE LA MADERA DE OCHO ENCINOS ARBÓREOS DE LA SIERRA DE ÁLVAREZ, SAN LUIS POTOSÍ

RESUMEN

Se realizaron ensayos químicos, físicos y mecánicos con la madera de ocho especies arbóreas de encinos blancos (género *Quercus*, subgénero *Quercus*, sección *Quercus*) que crecen en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí (*Quercus ariifolia*, *Q. chihuahuensis*, *Q. grisea*, *Q. laeta*, *Q. obtusata*, *Q. polymorpha*, *Q. potosina*, y *Q. resinosa*). Los ensayos químicos (porcentaje de celulosa, lignina, cenizas y extractos con agua caliente), se realizaron según lo establecido en las normas TAPPI, y los físicos y mecánicos (densidad básica, flexión estática y tenacidad) de acuerdo con normas ASTM. Se encontraron diferencias significativas en los porcentajes de los compuestos entre las maderas. El contenido de celulosa varió de 53,0 a 67,6 %; el de lignina entre 31,7 % y 40,9 %; y el de cenizas entre 0,9 a 6,6 %. Todos los valores resultaron ser mayores que los publicados para otras especies de encinos. El contenido de extractos removidos con agua caliente presentó diferencias significativas entre las ocho maderas y entre la madera de albura y la de duramente de cada especie, pero siempre fue más alto en la madera de duramen. Los valores registrados para la madera de albura variaron entre 8,8 y 15,5 %, y entre 13,4 y 19,9 % para la de duramen. Los valores de resistencia a la flexión (MOR), en condición seca (12 % CH) variaron entre 63,4 (*Q. chihuahuensis*) y 143,3 (*Q. polymorpha*); los valores de la rigidez (MOE) se registraron entre 6 162 MPa (*Q. chihuahuensis*) y 12 972 MPa (*Q. polymorpha*). La tenacidad más alta fue registrada para *Q. potosina* (614 J/cm³), y la más baja la presentó *Q. resinosa* (320 J/cm³). La

densidad básica (pa/vv) registrada para la madera de las ocho especies estuvo en un intervalo de 0,675 (*Q. laeta*) a 0,861 (*Q. chihuahuensis*). En general los valores obtenidos para la madera de las ochos especies de encinos blancos de la sierra de Álvarez, presentan valores más altos que los registrados para las madera de otras especies, lo cual puede atribuirse a que las especies estudiadas en el presente trabajo crecen en un clima subhúmedo a seco a diferencia de las especies referidas en la literatura revisada, donde los encinos que se estudiaron crecen fundamentalmente en climas húmedos.

Palabras clave: encinos arbóreos blancos, composición química, propiedades físico-mecánicas, densidad básica,

ABSTRACT

Tests to evaluate chemical composition, as well as physical and mechanical properties were carried on with white oak wood of eight arboreal species (genus *Quercus*, sub genus *Quercus*, section *Quercus*) from sierra de Álvarez, San Luis Potosí (*Quercus ariifolia*, *Q. chihuahuensis*, *Q. grisea*, *Q. laeta*, *Q. obtusata*, *Q. polymorpha*, *Q. potosina*, y *Q. resinosa*). Chemical testing (percentage of cellulose, lignin, ashes and hot water extracts), were performed following TAPPI standards; physical and mechanical (basic density, static bending and toughness) according to ASTM standards. Statistical differences between the percentages of the compounds between the woods were significant. Cellulose content varied from 53,0 to 67,6%; lignin content ranged from 31,7% to 40,9%; and ashes content from 0,9 to 6,6%. All values were higher than those reported for other white oak species. Extract contents removed with hot water presented significant differences between the eight wood,

and between sapwood and heartwood into individual woods, being always highest in heartwood. Values recorded for sapwood varied between 8,8 and 15,5%, and from 13,4 to 19,9% for heartwood. Strength bending values (MOR) in dry condition (12% CH) varied between 63,4 (*Q. chihuahuensis*) and 143,3 (*Q. polymorpha*), stiffness values (MOE) ranged from 6 162 MPa (*Q. chihuahuensis*) to 12 972 MPa (*Q. polymorpha*). The highest toughness was recorded for *Q. potosina* (614 J/cm³) and the lowest was presented by *Q. resinosa* (320 J/cm³). Basic density (pa/vv) recorded for the wood of the eight species was in the range of 0,675 (*Q. laeta*) and 0,861 (*Q. chihuahuensis*). Generally, the values obtained for the eight white oaks wood from sierra de Álvarez, SLP, were higher than those reported for wood of other species, probably because the species of this study grow in a sub humid to dry climate, in contrast with those species included in the reviewed literature, which grow in more humid climates.

INTRODUCCIÓN

En nivel industrial los encinos han sido poco aprovechados, a pesar de ser el grupo más importante después de los pinos como recurso forestal en el país. Esto se debe fundamentalmente a que la industria forestal y maderera en México ha sido por tradición una industria de maderas suaves, por lo que el proceso de la madera de encino con el mismo equipo presenta serias dificultades, al ser inadecuado para trabajar las maderas duras, lo que ha dificultado aun más su industrialización (de la Paz *et al.*, 2000; Zavala, 1990).

En el campo de la tecnología de la madera, uno de los aspectos que en nivel nacional ha sido menos estudiado es la composición química. En el caso de los

encinos es aun menor el número de especies al que se le ha estudiado la composición química de su madera (Honorato, 2002), y dentro de ellos los encinos blancos representan el menor porcentaje. Sin embargo, fuera de México, en la industria de la tonelería para la maduración de vinos y aguardientes, los encinos blancos han sido profundamente analizados para evaluar sus aportaciones e interacciones con los líquidos alcohólicos (Cadahia y Fernández de Simón, 2004; Cadahia *et al.*, 2003; Cendoya, 2003; Chatonet y Dubordieu, 1998; Fernández de Simón *et al.*, 1999 a y b, 2003 a y b; Jordan *et al.*, 2005; Mosedale y Ford, 1996; Mosedale *et al.*, 1998 y 1999).

A la vez, los estudios sobre las propiedades físicas y mecánicas de la madera de los encinos blancos que crecen en México, son mucho menos que los hechos para los encinos rojos (De la Paz, 2000; Honorato, 2002), a pesar de que su madera es más utilizada en México, aunque en forma tradicional y rudimentaria, y que se importa para recubrimientos en edificaciones y para fabricar muebles.

García *et al.*, (1999) identificaron en la sierra de Álvarez en el estado de San Luis Potosí 16 especies arbóreas y dos arbustivas del género *Quercus*. Sobre los encinares de esta región se han publicado estudios sobre su ecología, distribución y riqueza florística (García *et al.*, 1999; Castillo *et al.*, 2008; Ramírez *et al.*, 2000; García y Aguirre, inédito), pero se desconoce información sobre las características y usos de la madera de esas especies de encino.

Este trabajo tiene como objetivo contribuir al conocimiento de las características tecnológicas de la madera de ocho especies arbóreas de encinos blancos de la sierra de Álvarez, en el estado de San Luis Potosí (*Quercus ariifolia*, *Q. chihuahuensis*, *Q. grisea*, *Q. laeta*, *Q. obtusata*, *Q. polymorpha*, *Q. potosina*, *Q.*

resinosa) y proponer usos específicos y rentables de acuerdo con las cualidades tecnológicas respectivas.

ANTECEDENTES

El análisis químico de la madera de encinos mexicanos abarca aspectos generales y específicos que van desde su pH hasta la caracterización de algunos compuestos químicos de la madera y de la corteza (Honorato, 2002).

En general, los valores publicados para la madera de encinos mexicanos son: alfa celulosa de 37,0 % a 56,0 %, hemicelulosas de 22,0 % a 30,0 % y lignina de 8,0 % a 22,0 %. Para las holocelulosas (celulosa más hemicelulosas) se han registrado valores entre 60,0 % y 82,0 %. De pentosas se han registrado valores en un intervalo entre 18,0 % y 23,0% (Honorato, 2002).

En cuanto a los componentes menores, la cantidad de cenizas en la madera de los encinos mexicanos oscila entre 0,32 % y 1,38 %; el contenido de sílice es entre 0,0025 % y 0,0093 %; la cantidad de extractos en agua caliente varía de 4,6 % a 10,0 %; los extractos en etanol-benceno van de 1,1 % a 7,2 %; y en hidróxido de sodio al 1,0 % están en un intervalo de 20,9 % a 26,0 %; y el contenido de taninos se ha establecido que varía entre 0,6 % y 33,4 % (Honorato, 2002).

De la Paz (2000) resumió los estudios sobre las propiedades físicas y mecánicas de las maderas de encinos rojos que habían sido evaluadas, entre las cuales *Q. laurina* (del Distrito Federal y los estados de Jalisco, Michoacán, Puebla y Tlaxcala), y *Q. crassifolia* (de los estados de Jalisco, Oaxaca y Puebla) destacan Por su mayor número de procedencias estudiadas. Estas especies también crecen en la sierra de Álvarez. La madera de *Q. rugosa* ha sido las estudiada un mayor número

de veces en este respecto, con material procedente de los estados de Michoacán y Oaxaca; en cambio la madera de *Q. glabrescens*, *Q. insignis*, *Q. magnoliifolia* y *Q. convallata* sólo se ha estudiado una muestra de los estados de Puebla, Veracruz, México y Durango, respectivamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de estudio

El material de las ocho especies estudiadas se recolectó en la sierra de Álvarez, sistema ortográfico localizado al sureste de la capital del estado de San Luis Potosí, extendida en dirección NO-SE. Este sistema y las serranías que le suceden hacia el norte forman un límite que separa la cuenca del valle de San Luis Potosí de las llanuras que forman la cuenca del Ríoverde (García *et al.*, 1999).

En la sierra de Álvarez predomina un clima BS₁hw(w)(e)g, BS₁kw(e)gw, BS₀hw(e)gw; su precipitación media anual es de 366 a 571 mm y presenta un porcentaje de lluvia invernal entre 5,0 % y 10,2 %. La temperatura media anual es de 17 °C a 18 °C; y oscila entre - 3 °C y 18 °C en el mes más frío (García *et al.*, 1999). Se registran dos temporadas al año, la seca de noviembre a abril, y la lluviosa de mayo a octubre; los meses de precipitación más abundante coinciden con los meses de temperaturas más elevadas (Ramírez, 2000).

Las especies estudiadas (Figura 1) ocupan exclusivamente las laderas de los cerros con rocas sedimentarias o ígneas entre altitudes de 1 500 y 2 700 msnm. Las muestras de los árboles se recolectaron en tres municipios del estado de San Luis Potosí: Ríoverde, Santa María del Río y Villa de Zaragoza (Figura 1).

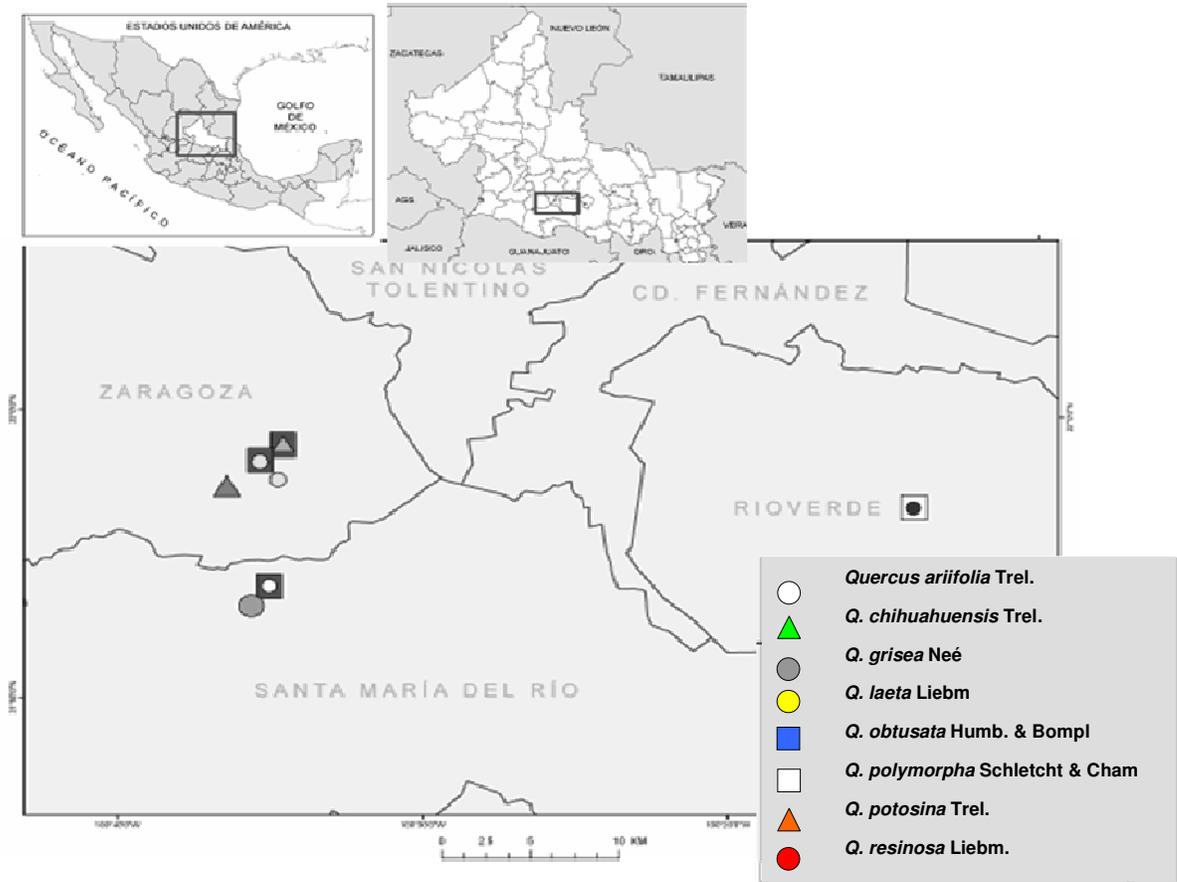


Fig. 1. Sitios de recolecta de ocho especies arbóreas de encino blanco en la sierra de Álvarez, SLP.

Características del encinar arbóreo en la sierra de Álvarez, San Luis Potosí

Los encinares se localizan en las partes más altas de la sierra de Álvarez, hacia su porción central, así como en otras serranías de San Luis Potosí. Están compuestos por especies del género *Quercus*, caracterizadas por su hoja dura y decidua de tipo xero-tropofítico. Casi todos estos árboles pierden sus hojas en los meses de febrero a abril, por un lapso relativamente breve, que no pasa de dos meses (Rzedowski, 1965). Estos bosques ocupan exclusivamente las laderas de los

cerros, de 1 900 hasta 2 700 msnm. Pueden ser bosques bajos, de densidad variable, generalmente de troncos delgados, y es común que a partir de un sistema radical se desarrollen varios troncos (Rzedowski, 1965, 2006).

Este tipo de vegetación se ha observado sobre diversas clases de roca madre, tanto ígneas, como sedimentarias y metamórficas, así como en suelos profundos de terrenos aluviales planos. Típicamente el suelo es de reacción ácida moderada (pH 5,5 a 6,5), con abundante hojarasca y materia orgánica en el horizonte superficial. La textura varía de arcillosa a arenosa al igual que la coloración. Son bosques característicos de clima Cw, pero también se extienden hacia Cf, Cs, Cx', Af, Am, Aw y BS. La precipitación media anual varía de 350 mm a más que 2 000 mm. El número de meses secos oscila entre 0 y 9. Las temperaturas por debajo de 0 °C son comunes en el periodo más frío del año (Rzedowski, 2006).

Descripción de las especies

Todas las especies estudiadas pertenecen a la familia *Fagaceae*, al género *Quercus* y la sección *Quercus* o encinos blancos, de hábito arbóreo. Enseguida se incluyen las descripciones de estas especies tomadas de la "Guía de campo para la identificación de los árboles de sierra de Álvarez, San Luis Potosí", en proceso editorial (García y Aguirre, inédito). En las Figuras 2 a 9 se ilustran los ejemplares de herbario derivados de los árboles muestreados. En la Tabla 1 se presentan las características de los individuos y sus sitios de recolecta.

***Quercus ariifolia* Trel.** (Figura 2).

Nombre común: Encino prieto.

Árbol de 3,0 a 12,0 m de altura; monoico y caducifolio; tronco recto a ligeramente torcido, de $\pm 90,0$ cm de diámetro.



Fig. 2. *Quercus ariifolia* Trel.

Corteza en placas cuadrangulares, de color castaño oscuro.

Hojas simples, alternas, coriáceas, rugulosas, elípticas o ligeramente más amplias hacia el extremo superior, de 5,0 a 10 (12,5) cm de longitud y 4,0 a 6,0 cm de anchura, haz poco pubescente, de color verde oscuro, más o menos opaco, envés densamente tomentoso, con la pubescencia blanquecina a castaño claro; planas a algo cóncavas; borde ligeramente revoluto, dentado de la parte media hacia el ápice, con tres a cuatro pares de dientes; ápice obtuso; base redondeada o subcordada; venación pinnada, reticulada, vena central y secundarias conspicuas, prominentes,

de ocho a 13 pares; pecíolo de 10 mm de longitud, tomentoso o glabro, de color oscuro o rojizo.

Flores unisexuales, las masculinas arregladas en amentos de 4,5 a 8,5 cm de longitud, las femeninas en racimos de menos de 2,0 cm de longitud, con una a tres flores.

Fruto anual, solitario o en pares, con pedúnculo grueso, de 8,0 mm de longitud; cúpula de 20 mm de diámetro, nuez de 1,8 cm de longitud, de color castaño oscuro.

Hábitat, en bosque húmedo de encino, sobre sustrato sedimentario.

Observaciones: Es fisonómicamente dominante en una comunidad y escasa en otras; el fuste llega a formar contrafuertes. Florece de abril a mayo y fructifica de septiembre a octubre.

***Quercus chihuahuensis* Trel. (*Q. jalisciensis* Trel.)** (Figura 3).

Nombre común: Encino blanco.

Árbol de $\pm 4,0$ (10,0) m de altura; monoico y caducifolio, tronco recto a torcido, de $\pm 20,0$ cm de diámetro.

Corteza en placas más o menos cuadrangulares, de color grisáceo oscuro.

Hojas simples, alternas, más o menos coriáceas, obovadas, oblongo-obovadas o elípticas, de 5,0 a 12,0 cm de longitud y 2,0 a 6,0 cm de anchura, haz verde claro, pubescente, envés pálido y piloso o glauco, aterciopeladas al tacto y glabras con la edad; borde entero, sinuado-dentado o lobulado-aserrado, y ligeramente revoluto; ápice obtuso, ampliamente redondeado o corto-mucronado; base redondeada o subcordada; venación pinnada, vena central conspicua, algo prominente, las



Fig. 3. *Quercus chihuahuensis* Trel.

secundarias visibles a simple vista, de ocho a 11 pares; pecíolo de 2,0 a 12,0 mm de longitud.

Flores unisexuales; las masculinas arregladas en amentos de 2,5 cm de longitud, y las femeninas en uno a cinco racimos de menos de 2,0 cm de longitud.

Fruto, anual, solitario o en pares, con pedúnculo de 1,5 cm de longitud; cúpula hemisférica de 12,0 a 18,0 mm de diámetro, de color grisáceo; nuez ovoide, de 1,2 a 1,5 cm de longitud, de color castaño oscuro cuando madura.

Hábitat, en bosque de encino-pino, pino-encino y piñonar; sobre suelos de origen ígneo.

Observaciones: Escasa. Es una especie visitada por hormigas. Florece de abril a mayo y fructifica en octubre; también en octubre se observaron ejemplares con flores.

***Quercus grisea* Liebm.** (Figura 4).

Nombre común: Encino.

Árbol de $\pm 4,0$ (7.0) m de altura; monoico y caducifolio; tronco recto a torcido de $\pm 24,0$ cm de diámetro.

Corteza en placas más o menos cuadrangulares, de color gris oscuro.



Fig. 4. *Quercus grisea* Liebm.

Hojas simples, alternas, subcoriáceas, oblongo-elípticas a ovadas, de 2,0 a 4,0 cm de longitud y 1,0 a 3,0 cm de anchura, haz de color verde claro, pubescente, envés densamente tomentoso, de color grisáceo, blanquecino; borde entero o con pocos dientes anchos, principalmente en hojas jóvenes; ápice redondeado, cortamente mucronado, base redondeada o subcordada; venación pinnada, vena central conspicua poco prominente, venas secundarias poco visibles a simple vista, de seis a 10 pares; pecíolo de 2,0 a 5,0 mm de longitud.

Flores unisexuales, las masculinas arregladas en amentos de 2,0 a 7,0 cm de longitud; flores femeninas de una a ocho arregladas en racimos de 0,5 a 4,0 cm de longitud.

Fruto anual, solitario o por pares, con pedúnculo de 1,5 cm de longitud y, cúpula de 0,8 a 1,5 cm de diámetro, de color grisáceo, de 0,4 a 1,0 cm de longitud; nuez ovoide o elipsoidal, de 1,2 a 1,8 cm de longitud, castaño claro.

Hábitat, en bosque subhúmedo de encino, y bosque húmedo de encino-pino, pino-encino y bosque de galería, sobre sustrato de origen ígneo.

Observaciones: Especie fisonómicamente dominante en una localidad y escasa en otras. Florece de marzo a abril y fructifica de junio a octubre; en este último mes se observaron ejemplares con flores.

***Quercus laeta* Liebm.** (*Q. pallescens* Trel.; *Q. obscura* Trel.; *Q. transmontana* Trel.) (Figura 5).

Nombre común: Encino blanco.

Árbol de 4,0 a 12,0 m de altura; monoico y caducifolio, tronco recto de \pm 45,0 cm de diámetro.

Corteza en placas más o menos cuadrangulares, de color castaño rojizo oscuro.

Hojas simples, alternas, tiesas y coriáceas al madurar, angostamente elípticas, oblongas, lanceoladas u obovadas, rara vez ovadas, de 6,0 a 10,0 cm de longitud y 2,0 a 6,0 cm de anchura, haz de color verde oscuro, brillante, envés finamente con pelos estrellados y algunos glandulares de color rojizo o glabro, rugulosas o casi planas; borde entero o con uno a siete dientes mucronados de cada lado, ápice obtuso, angostamente elíptico o agudo, base redondeada o cordada; venación



Fig. 5. *Quercus laeta* Liebm.

pinnada, vena primaria conspicua, prominente, las secundarias visibles a simple vista, de ocho a 11 pares; pecíolo de 2,0 a 8,0 mm de longitud.

Flores unisexuales, las masculinas arregladas en amentos de 4,0 a 6,0 cm de longitud; las femeninas de una a tres en racimos de 1,0 a 2,0 cm de longitud.

Fruto anual, solitario o en grupos de dos a tres, con pedúnculo de 2,5 a 3,7 cm de longitud; cúpula hemisférica de 1,0 a 2,0 cm de diámetro; nuez ovoide a largamente ovoide de 0,7 a 2,2 cm de longitud, castaño poco oscuro.

Hábitat, en bosque de encino y pino-encino, sobre sustrato sedimentario o ígneo.

Observaciones: En gran parte de los encinares estudiados es una especie fisonómicamente dominante, al igual que *Q. mexicana* y *Q. obtusata*; en los bosques de pino es escasa. La floración es de mayo a julio; fructifica de octubre a diciembre, pero se observaron ejemplares con frutos maduros en julio.

***Quercus obtusata* Humb. & Bonpl.** (*Q. crenatifolia* Trel.; *Q. panduriformis* Trel.; *Q. innuncupata* Trel.; *Q. hartwegii* Benth.)(Figura 6).

Nombre común: Encino blanco y roble.

Árbol de ± 4,0 a 12,0 (20,0) m de altura; monoico y caducifolio; tronco recto, de ± 22,0 a 60,0 cm de diámetro.

Corteza en placas más o menos cuadrangulares, de color castaño oscuro o gris.



Fig. 6. *Quercus obtusata* Humb. & Bonpl.

Hojas simples, alternas, gruesas y coriáceas, obovadas a largamente obovadas, elípticas, de 12,0 a 20,0 cm de longitud y 5,0 a 10,0 cm de anchura, haz algo lustroso con pelos estrellados dispersos, envés ligeramente más pálido, glandular, con pubescencia dispersa; cóncavas y rugulosas; borde engrosado, revoluto, ligeramente crenado y sinuado-dentado o subentero, con cinco a ocho dientes mucronados de cada lado; ápice obtuso o ampliamente redondeado, base redondeada o subcordada;

venación pinnada, vena primaria conspicua y prominente, las secundarias visibles a simple vista, de nueve a 12 pares; pecíolo de 7,0 a 15,0 cm de longitud.

Flores unisexuales las masculinas arregladas en amentos de 3,0 a 6,0 cm de longitud y las femeninas en racimos de una a seis o más, con pedúnculos de 1,0 a 8,0 cm de longitud.

Fruto anual, solitario o en grupos de dos o tres; pedúnculo de 5,0 a 7,0 cm de longitud; cúpula hemisférica de 1,0 a 1,5 cm de diámetro; nuez cortamente ovoide de 1,7 a 2,0 cm de longitud, de color castaño claro.

Hábitat, en bosque de encino y encino-pino, sobre sustrato sedimentario o ígneo.

Observaciones: Frecuente a escasa. Florece en abril y fructifica de agosto a octubre.

***Quercus polymorpha* Schldl. & Cham.** (Figura 7).

Nombre común: Naranjillo.

Árbol de \pm 12,0 (15,0) m de altura; monoico y caducifolio; tronco recto a ligeramente torcido, de 60,0 cm de diámetro.

Corteza de color castaño oscuro, en placas más o menos rectangulares.

Hojas simples, alternas, oblongo-elípticas, lanceoladas u obovadas, de 7,0 a 13,5 cm de longitud y 2,4 a 6,6 cm de anchura, subcoriáceas, las hojas tiernas son membranosas y finamente pubescentes en el envés; haz algo lustroso, envés más o menos opaco y glabro, glauco, poco pubescente; borde entero o dentado, dientes mucronados, dispuestos hacia el ápice; ápice agudo, base cordada, ocasionalmente asimétrica; venación pinnada, vena primaria conspicua, prominente, las venas secundarias conspicuas, de 10 a 14 pares; pecíolo de 1,5 a 3,0 cm de longitud.

***Quercus potosina* Trel.** (Figura 8).

Nombre común: Encino

Corteza en placas más o menos irregulares, de color castaño oscuro.



Fig. 8. *Quercus potosina* Trel.

Árbol de $\pm 3,0$ (7,0) m de altura; monoico y caducifolio; tronco recto a torcido de 15,0 a 25,0 cm de diámetro.

Corteza en placas más o menos cuadrangulares, de color castaño oscuro o grisáceo.

Hojas simples, alternas, coriáceas, obovadas, suborbiculares, oblongas u oblanceoladas, de 3,0 a 6,0 cm de longitud y 2,0 a 4,0 cm de anchura, haz verde oscuro, poco lustroso, con pelos glandulares, estrellados y esparcidos, glabrescente con la edad, envés de color pálido, con pelos estrellados y pelos glandulares de color ámbar; borde engrosado, algo revoluto, dentado, con cuatro a 13 dientes en cada lado, terminados en mucrón; ápice redondeado u obtuso, base cordada; venación

pinnada, vena primaria conspicua y prominente, las secundarias visibles, de seis a 12 pares; pecíolo de 0,2 a 0,9 cm de longitud, de color rojizo.

Flores unisexuales, las masculinas arregladas en amentos de 3,0 a 5,0 cm de longitud, las femeninas de dos a 10 arregladas en racimos sobre un pedúnculo de 1,0 a 3,0 cm de longitud.

Fruto anual, solitario o en pares, con pedúnculo de 2,0 a 3,0 cm de longitud, cúpula hemisférica de 0,12 a 2,0 cm de diámetro; nuez ovoide de 0,15 a 0,18 cm de longitud.

Hábitat, en bosque subhúmedo de encino y de encino-pino y bosque húmedo de pino-encino; sobre sustrato de origen ígneo.

Observaciones: Escasa en algunas comunidades y frecuente en las partes abiertas y alteradas del bosque de pino. Florece de abril a mayo y fructifica de agosto a octubre.

***Quercus resinosa* Liebm.** (*Q. macrophylla* sensu Trel., no *Q. macrophylla* Née) (Figura 9).

Nombre común: Encino roble.

Árbol de 4,0 a 7,0 (15,0) m de altura; monoico y caducifolio; tronco recto a torcido, de ± 18,0 a 25,0 cm de diámetro.

Hojas simples, alternas, tiesas, anchamente obovadas, de 15,0 a 30,0 cm de longitud y de 9,0 a 20,0 cm de anchura, haz de color verde oscuro con una persistente y fina pubescencia estrellada y pelos glandulares vermiformes, envés densamente pálido tomentoso con pelos glandulares rojizos sólo a lo largo de las venas; borde engrosado y revoluto, sinuado- dentado, dientes



Fig. 9. *Quercus resinosa* Liebm.

mucronados; ápice obtuso o acuminado; base cordada; venación pinnada reticulada, vena primaria conspicua y prominente, las secundarias visibles a simple vista, de 10 a 20 pares, por lo general rectas y paralelas; de color rojizo, debido a la pubescencia; pecíolo de 0,5 a 0,8 cm de longitud, con frecuencia ocultos entre los lóbulos de las hojas.

Flores unisexuales, las masculinas arregladas en amentos de 7,0 a 15,0 cm de longitud, las femeninas de una a cinco (-10) arregladas en racimos sobre un pedúnculo de 2,0 a 5,0 cm de longitud.

Fruto anual, solitario o en grupos de dos o tres, pedúnculo grueso de 5,0 cm de longitud, cúpula hemisférica de 1,5 a 2,5 cm de diámetro; nuez ovoide de 1,5 a 3,5 cm de longitud.

Hábitat, en bosque húmedo de encino-pino y de pino-encino, sobre sustrato de origen ígneo.

Observaciones: Se observó en forma escasa a frecuente, sobre todo en sitios abiertos y alterados. Son evidentes las cicatrices que dejan las hojas, miden de 0,5 a 0,8 mm de anchura y las estípulas de 0,8 a 2,0 cm de longitud. Florece en marzo y fructifica de mayo a agosto; aparentemente fructifica cada dos años.

Recolección y preparación del material

Se recolectaron dos individuos por especie, con diámetros mayores que 20 cm a la altura del pecho, fuste recto, sin daño visible por insectos, pudrición o incendio. De estos árboles muestreados se recolectaron también especímenes de se obtuvieron ejemplares de herbario, los cuales se procesaron y se depositaron como referencia en el Herbario Isidro Palacios (SLPM) del Instituto de Investigación de Zonas Desérticas de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Con las muestras de madera se registraron los datos fisiogeográficos de los sitios de recolecta: tipo de vegetación, latitud, altitud, clima y pendiente del sitio, así como altura del fuste y del árbol y su diámetro a la altura del pecho.

El material se seleccionó al azar, de diferentes árboles y de distintas zonas de la región. Los fustes recolectados se identificaron con un número consecutivo y único para ordenar la realización posterior de los ensayos. El material en rollo fue secado por seis semanas, posteriormente, fue descortezado y se transformó en tablas de diferentes grosores con una sierra de banco. El material para los ensayos químicos se secó por dos semanas más; luego se cortó en tablillas, las cuales se desintegraron en una astilladora mecánica en fragmentos de diferentes dimensiones;

Tabla 1. Datos de recolecta de las muestras de ocho especies arbóreas de encinos blancos de la sierra de Álvarez, SLP.

Árbol	Especie	Municipio	Localidad y sitio	Hábitat	Longitud/ Latitud	Altitud (msnm)	Clima	Sustrato geológico	Pendiente terreno	Altura total aprox./ primera rama (m)	DAP cm	Frecuencia	Registro Herbario SLP
1	<i>Quercus grisea</i> Liebm.	Santa María del Río	Rancho La Huerta	BPpE	N 21° 53' 27,4" E 100° 35' 33,6"	2 186	BS ₁ kw (e) gw"	I	30 °	6 1,67	87	Frecuente	43022
15 °									4 1,6	80		43023	
3	<i>Quercus obtusata</i> Humb. & Bonpl.	Santa María del Río	El Pinalito, El Pinalito	BppE	N 21° 53' 52,0"	2 248	BS ₁ kw(e)gw"	S	45 °	11 1,6	71	Escaso	43024
14		Villa de Zaragoza	Puerto de Badillo, La mesa	BshEP	N 21° 58' 26,36" E 100° 35' 08,7"	2 338	BS ₁ kw (e)gw"	S	45 °	10 2,5	96	Frecuente	43035
16			Badillo		N 21° 58' 10,66" E 100° 35' 05,62"	2 283	BS ₁ kw (e)gw"	S	10 °	10 2,2	86,7	Frecuente	43037
4	<i>Quercus chihuahuensis</i> Trel.	Santa María del Río	El Pinalito	BEPp	N 21° 53' 52,0" E 100° 35' 08,7"	2 248	BS ₁ kw (e)gw"	I	45 °	8 2	80	Escaso	43025
5									60 °	6 2,5	103		43026
6	<i>Quercus laeta</i> Liebm.	Villa de Zaragoza	Puerto de Badillo	Beh	N 21° 57' 54,9" E 100° 35' 0,8"	2 246	BS ₁ kw (e) gw"	S e I	45 °	11 2,5	60	Frecuente	43027
15			Badillo	BshEP	N 21° 58' 10,66" E 100° 35' 05,62"	2 283	BS ₁ kw (e) gw"	S	10 °	6 1,7 m	78		43036
7	<i>Quercus potosina</i> Trel.	Villa de Zaragoza	Ranchito de Juárez, El caracol	BshPpE	N 21° 57' 15,4" E 100° 36' 28,3"	2 055	BS ₁ kw (e) gw"	I	45 °	6 1,80	61,5	Escaso	43028
8									6 2,2	60		43029	
9	<i>Quercus polymorpha</i> Schldl. & Cham.	Ríoverde	Ejido Los Alamitos, La cabeza	BHPE	N 21° 56' 46,7" E 100° 13' 55,6"	1 437	(A)Ca (w _o)(e) gw"	I	10 °	12 5,0	94	Abundante	43030
10									15 °	11		43031	
11	<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	Ríoverde	Ejido Los Alamitos, La cabeza	BHPE en cañada	N 21° 56' 46,7" E 100° 13' 55,6"	1 437	(A)Ca (w _o)(e) gw"	I	45 °	14		Abundante	43032
12									60 °	10	80		43033
13	<i>Quercus ariifolia</i> Trel.	Villa de Zaragoza	Puerto de Badillo, La mesa	BshEP	N 21° 58' 26,36" E 100° 34' 54,09"	2 338	BS ₁ kw (e)gw"	S	45 °	12	130	Frecuente	43034

BPpE Bosque pino piñonero - encino
 BppE Bosque pino piñonero - encino
 BShEP Bosque subhúmedo de encino-pino
 I Igneo

BEPp Bosque de encino-pino piñonero
 BEh Bosque de encino húmedo
 BShPpE Bosque subhúmedo de pino piñonero - encino
 S Sedimentario

BHPE Bosque húmedo de pino-encino
 SLPM Isidro Palacios IIZD, UASLP

los fragmentos más pequeños fueron pulverizados en un molino Wiley hasta obtener partículas que pasaran por un tamiz con malla Núm. 40, pero que quedaran retenidas en un tamiz con malla Núm. 60. El material tamizado en la forma descrita se mantuvo en bolsas abiertas para que disminuyera su contenido de humedad. Con este material se realizaron dos réplicas por cada medición de los componentes químicos, de acuerdo con lo que establecen las normas respectivas (Anónimo, 1991 a, b, c, y d).

El material para los ensayos físicos fue trasladado al Laboratorio de Pruebas de Productos Maderables del Instituto de Ecología, A.C. en Xalapa, Ver., donde se mantuvo al aire libre, pero cubierto para protegerlo de la acción directa de la lluvia y el sol, hasta que se equilibró su contenido de humedad. Posteriormente se obtuvieron tablones, a los que se les sellaron los extremos. Los tablones se mantuvieron en una cámara con condiciones controladas de humedad relativa y temperatura, hasta que alcanzaron un contenido de humedad promedio de $12 \% \pm 3 \%$. Posteriormente, con ellos se elaboraron los especímenes de ensayo, de acuerdo con lo que establece la norma ASTM D 143 para las mediciones de ensayos de flexión estática método secundario y tenacidad (Anónimo, 2007 a).

Análisis químicos

Para la evaluación de los componentes estructurales (celulosa, lignina y cenizas) es necesario remover los extractos, esto es, los compuestos que no forman parte de la estructura de la madera, para lo cual se siguió el método establecido por la norma Preparation of extractive free-wood (Anónimo, 1991a); previamente a cada determinación, se calculó el contenido de humedad, mediante lo establecido en dicha

norma. La medición de lignina se realizó de acuerdo con lo establecido en la norma Acid-insoluble lignin in wood and pulp (Anónimo, 1991b); para evaluar celulosa se utilizó el método del ácido nítrico, desarrollado por Kuschener y Hoffer en 1929 (Browning, 1967); y para cuantificar las cenizas se utilizó lo establecido en la norma Ash in wood and pulp (Anónimo, 1991c). Para la cuantificación de los extractos en agua caliente, esto es los componentes no estructurales, se utilizó el método establecido en la norma Water solubility of wood and pulp (Anónimo, 1991d).

El diseño experimental utilizado fue con asignación completamente aleatoria de tratamientos (especies de encino), se realizaron dos réplicas experimentales con cinco repeticiones cada una. Se comprobó la normalidad de los datos y los datos correspondientes a los análisis químicos de celulosa, lignina y minerales se analizaron mediante estadística descriptiva, prueba de F y comparación múltiple de medias. Para reconocer la diferencia del contenido de los compuestos no estructurales (metabolitos secundarios o extractos) presentes en la madera de albura y duramen de los encinos estudiados se hizo una prueba de t y una comparación de medias de Tukey. Además se hizo un análisis de correlación entre altura y diámetro del árbol y la pendiente, latitud y altitud del sitio de recolecta. Para estos análisis se utilizó el paquete estadístico SAS (1990) Versión 8 (Anónimo, 1990).

Ensayos físicos

Los especímenes para estos ensayos se elaboraron de manera que no presentaran defectos, como desviación de fibra, nudos, ataque de insectos o pudrición, y que los anillos de crecimiento estuvieran orientados en coincidencia con una de sus caras.

Las mediciones de flexión estática y por impacto (tenacidad) se realizaron de acuerdo con lo establecido en los incisos 7 y 9 de la norma ASTM D 143 (Anónimo, 2007a), el contenido de humedad y la densidad básica se midieron inmediatamente después de cada ensayo, de acuerdo con lo que se establece en el inciso 21 de la misma norma y en el método B de la norma ASTM 2385 (Anónimo, 2007b).

La evaluación de las propiedades en flexión estática se realizó en una máquina universal de ensayos con capacidad de 250 000 Newtons; en estos ensayos se registraron las propiedades de esfuerzo al límite de proporcionalidad (MPa), módulo de ruptura (MPa), módulo de elasticidad (MPa) y trabajo a la carga máxima (Joules). Los ensayos de tenacidad se realizaron en una máquina de impacto que funciona con el principio de un péndulo, aplicando la carga de manera abrupta al centro del espécimen, la energía necesaria para ocasionar la ruptura total del espécimen (Joules) se calcula a través de la diferencia entre los ángulos inicial y final, de colocación del espécimen, registrado por la oposición que ofrece el espécimen a la rotación libre del péndulo, medidos ambos ángulos con un vernier.

Para medir la densidad, después de cada ensayo físico se utilizó una porción del espécimen, cercano a la falla pero sin incluirla, y se registró su masa en ese momento, para proceder a determinar su contenido de humedad al momento del ensayo. Posteriormente esta muestra se saturó, es decir, se sumergió en agua para obtener su volumen verde (VV), por el método de desplazamiento de agua. Inmediatamente después, la muestra se secó en un horno de circulación forzada a una temperatura de $103\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$, hasta obtener su peso constante, el cual se registró como peso anhidro (PA). La relación entre estos dos valores (PA/VV) se tomó como la densidad de la madera. Con el fin de hacerla comparativa se hace una

relación con la densidad del agua, por lo que este valor se vuelve adimensional. El contenido de humedad (CH) se calcula como la diferencia entre el peso o masa registrada inmediatamente después del ensayo (PI) y el registrado después de secada al horno (PA), dividida entre este último y expresado en porcentaje.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los análisis químicos no se encontraron diferencias significativas entre réplicas, por lo que ambas se agruparon para conformar un total de diez repeticiones para cada tratamiento.

Celulosa

Con base en la prueba de F, el contenido de celulosa en las ocho especies estudiadas presenta diferencias estadísticas, las cuales permiten el reconocimiento de tres grupos de especies en este respecto (Tabla 2). La cantidad de celulosa se encuentra en un intervalo de 53,0 a 67,6 % el cual es relativamente alto al compararlos con los resultados resumidos por Honorato (2002), en donde los valores promedio están entre 37 y 56 %. En efecto, Bautista y Honorato (2005) al analizar la madera de *Q. coccolobifolia*, *Q. durifolia*, *Q. rugosa* y *Q. oleoides*, encontraron valores entre 46,2 y 52,9%, en cambio Villa (2006) obtuvo valores entre 50 y 53 % al analizar dos especies de encinos blancos arbustivos (*Q. sebífera* y *Q. tinkami*) recolectados en la misma zona de estudio. De las especies evaluadas en el presente trabajo, sólo *Q. grisea*, la de menor contenido de celulosa, está dentro del intervalo general conocido. Mientras que las siete especies restantes presentan valores más altos que los de dicho intervalo. Cabe señalar que de acuerdo con dicho intervalo

general ya se había destacado que los encinos mexicanos tenían un porcentaje mayor de celulosa que el registrado para madera de encinos blancos de otros países (Honorato, 2002). Se encontró una correlación positiva ($p < 0,01$) entre el contenido de celulosa y la altura del árbol.

Tabla 2. Composición química de la madera de ocho especies arbóreas de encino blanco de la sierra de Álvarez, SLP (%) (n =10)

	LIGNINA		CELULOSA		CENIZAS			
<i>Qre</i>	40,9	a	<i>Qre</i>	67,6	a	<i>Qgr</i>	6,6	a
<i>Qgr</i>	37,6	ba	<i>Qla</i>	67,1	a	<i>Qch</i>	5,5	b
<i>Qpl</i>	33,3	bc	<i>Qar</i>	66,7	a	<i>Qla</i>	5,5	b
<i>Qch</i>	33,3	bc	<i>Qob</i>	64,6	a	<i>Qre</i>	5,4	b
<i>Qpo</i>	32,1	c	<i>Qpo</i>	60,8	ba	<i>Qpo</i>	5,3	b
<i>Qob</i>	32,0	c	<i>Qch</i>	60,7	ba	<i>Qpl</i>	5,0	b
<i>Qla</i>	31,8	c	<i>Qpl</i>	59,9	ba	<i>Qar</i>	3,9	c
<i>Qar</i>	31,7	c	<i>Qgr</i>	53,0	b	<i>Qob</i>	0,9	d

Qar = *Q. ariifolia*

Qla = *Q. laeta*

Qpo = *Q. potosina*

Qch = *Q. chihuahuensis*

Qob = *Q. obtusata*

Qre = *Q. resinosa*

Qgr = *Q. grisea*

Qpl = *Q. polymorpha*

Las literales indican diferencias estadísticamente significativas, prueba de Tukey ($p < 0,05$)

Los contenidos de celulosa de todas las especies estudiadas son mayores que de 50 %, lo cual las haría viables para la producción de papel, pues a una mayor proporción de celulosa mejor calidad y rendimientos de papel, aunque habría que hacer pruebas de pulpación y evaluaciones físicas del papel, ya que la madera de

encino en general es de fibra corta, lo cual desmerece las propiedades del papel, pero podría mezclarse con madera de especies de fibra larga para obtener mejores resultados (Honorato y Hernández, 1998).

Lignina

Con respecto a lignina, *Q. resinosa* también presentó el mayor porcentaje ($p < 0,05$) de las ocho especies estudiadas. Los valores encontrados resultaron muy superiores a los del intervalo general publicado por Honorato (2002) de 18 a 22 %, a lo encontrado para otras cuatro especies por Bautista y Honorato (2005)(20,4 a 23,3 % y por Villa (2006)(21 %) para *Q. sebifera* y *Q. thinkami*. Los valores obtenidos se encuentran en un intervalo de 31,7 a 40,9 % (Tabla 2) en cuatro grupos de especies según su contenido de este compuesto estructural. El porcentaje de lignina de lignina de las especies estudiadas careció de correlación significativa con las variables de sitio consideradas y de los individuos; así, es probable que dicho contenido sea un atributo inherente de cada especie y ambientalmente estable.

Como ya se mencionó, por su contenido de celulosa estas especies podrían recomendarse para la elaboración de papel; sin embargo, el contenido de lignina tan elevado disminuye la calidad de la pulpa y su rendimiento, y dificulta el proceso de blanqueo (Earl, 1979), por lo que sería necesario disminuir el contenido de esta sustancia mediante algún proceso químico.

Cenizas

La proporción de cenizas registradas en las especies estudiadas está en un intervalo de 0,9 a 6,6 % (Tabla 2), sólo *Q. obtusata*, con la proporción menor, es similar

a los valores para encinos mexicanos resumidos por Honorato (2002), de 0,3 a 1,4 %, mientras que todos superaron al respecto a las especies estudiadas por Bautista y Honorato (2005)(0,6 a 0,8 %). En cambio la madera de las dos especies arbustivas estudiadas por Villa (2006)(2,8 a 3,4 %), procedentes de la sierra de Álvarez, presentaron valores cercanos al punto medio de la amplitud del obtenido para la madera de las arbóreas de esa misma región. Del mismo modo que la lignina, las cenizas carecieron de correlación significativa con las variables utilizadas para este análisis.

Extractos

En los encinos los extractos son importantes porque imparten a la madera del duramen gran resistencia al ataque de hongos e insectos. Estas sustancias también son responsables de la mayor parte del color del duramen y son solubles en agua y en solventes orgánicos (Honorato, 2002). En general, la extracción con agua caliente incluye la disolución de taninos, gomas, azúcares, almidones, sales inorgánicas, polisacáridos y algunos colorantes presentes en la madera (Honorato, 2002).

La cantidad de extractos obtenidos con agua caliente en este estudio fueron diferentes estadísticamente ($p < 0,05$) para la madera de albura y de duramen, y variaron entre 8,8 y 15,5 % para los extractos de la albura, y de 13,4 a 19,9 % para los del duramen, con muy poca variación entre especies (Tabla 3). Estos valores son altos en comparación con los obtenidos por Villa (2006) con la madera de encinos arbustivos de sierra de Álvarez (7,5 a 8,9 %). Aunque no se encontraron datos específicos para albura y duramen por separado, los datos presentados por Honorato (2002) en su recopilación para los encinos mexicanos y por Bautista y Honorato (2005) para cuatro especies, los valores consignados, entre 5,0 y 9,0 %, son todos

inferiores a los obtenidos comparados con los obtenidos para albura, en este trabajo. El contenido de extractos de la albura se encontró correlacionado ($p < 0,01$) con la pendiente del sitio; en cambio, el contenido de extractos en el duramen parece ser un atributo inherente de cada especie, sin relación significativa con las variables estudiadas.

Tabla 3. Extractos removidos con agua caliente (%) de la madera de ocho especies arbóreas de encino blanco de la sierra de Álvarez, SLP (n =10)

ALBURA			DURAMEN		
<i>Qre</i>	15,5	a	<i>Qob</i>	18,9	a
<i>Qar</i>	13,4	b	<i>Qch</i>	18,7	ba
<i>Qob</i>	12,3	c	<i>Qpl</i>	18,1	bc
<i>Qgr</i>	12,2	dc	<i>Qgr</i>	18,1	bc
<i>Qch</i>	11,6	d	<i>Qre</i>	17,7	c
<i>Qpo</i>	10,2	e	<i>Qar</i>	15,7	d
<i>Qla</i>	10,1	e	<i>Qpo</i>	15,2	d
<i>Qpl</i>	8,8	f	<i>Qla</i>	13,4	e

Qar = *Q. ariifolia* *Qla* = *Q. laeta* *Qpo* = *Q. potosina*

Qch = *Q. chihuahuensis* *Qob* = *Q. obtusata* *Qre* = *Q. resinosa*

Qgr = *Q. grisea* *Qpl* = *Q. polymorpha*

Las literales indican diferencias estadísticamente significativas, prueba de Tukey ($p < 0,05$)

Una de las características de las especies estudiadas en el presente trabajo es que crecen en un clima subhúmedo a seco a diferencia de las especies referidas

en la literatura revisada, donde los encinos que se estudiaron crecen fundamentalmente en climas húmedos. Es posible que la localización geográfica y las condiciones de crecimiento de los árboles estudiados influyan en la cantidad de estos componentes, sobre todo en lo referente a lignina, cenizas y extractos del duramen.

Resistencia a la flexión estática

La resistencia a la flexión es la propiedad de la madera de soportar las fuerzas aplicadas a un elemento esbelto en dirección perpendicular a su eje longitudinal. En el caso específico de la madera de los encinos utilizados para la fabricación de barricas este atributo es importante, ya que a mayor resistencia, sus valores de módulo de ruptura (MOR) y de rigidez, módulo de elasticidad (MOE) serán más adecuados para que las duelas puedan ser dobladas sin provocarles una falla ni pérdida de su flexibilidad y las barricas aguantarán mejor su manipulación, transporte y estiba. La configuración de la barricas, abombada u ovoide truncada, permite que una persona sea capaz de desplazarlas al girarlas; pasarlas de su posición vertical a una horizontal sin que se dañe al caer, y que las pueda rodar sobre su diámetro mayor, donde se desplaza el centro de gravedad y se presenta el área de contacto mínima con el suelo. Los elementos de madera con resistencia baja a la flexión y con poca elasticidad, no resistirían este tipo de tratamientos de fabricación ni de manipulaciones con el peso contenido. La madera de los encinos blancos posee estas características por lo que es recomendada para éste y otros usos en donde se requieran valores de resistencia alta (Miller, 1999).

Los valores de resistencia a la flexión obtenidos para las especies estudiadas (Tabla 4) pueden calificarse entre medios y altos (Dávalos y Bárcenas, 1999). Los valores más bajos de resistencia (MOR) y rigidez (MOE) se registraron en las muestras de la madera de *Q. chihuahuensis* y *Q. grisea*.

Tabla 4. Flexión estática de la madera seca de ocho especies de encinos blancos arbóreos de la sierra de Álvarez, SLP.

Especie	Esfuerzo en el	Módulo de ruptura	Módulo de elasticidad	Contenido	n
	límite de proporcionalidad			de humedad	
	(MPa)	(MPa)	(MPa)	(%)	
<i>Q. ariifolia</i>	53,6	126,4	12 049	15	4
<i>Q. chihuahuensis</i>	33,5	63,4	6 162	15	5
<i>Q. grisea</i>	45,8	74,2	8 706	14	4
<i>Q. laeta</i>	56,2	115,2	10 409	13	3
<i>Q. obtusata</i>	50,5	114,8	9 826	16	6
<i>Q. polymorpha</i>	70,7	143,3	12 972	14	5
<i>Q. resinosa</i>	49,4	102,6	11 148	15	6

La densidad de la madera es un indicio general de sus propiedades mecánicas; sin embargo la madera de *Q. chihuahuensis* presentó el valor más alto de densidad, lo que puede atribuirse a que a mayor densidad la madera es más rígida. Con un margen amplio *Q. polymorpha* presentó los valores de resistencia y rigidez más altos, en comparación visual con la madera de las otras siete especies estudiadas en la de esta especie fue notoria la disposición paralela de sus elementos vasculares al eje longitudinal del fuste, y sus radios relativamente más pequeños.

De la Paz (2000) en su estudio sobre las propiedades mecánicas la madera de nueve especies de encino blanco, entre ellas tres de las evaluadas de la sierra de Álvarez, SLP. Así, *Q. obtusata* procedente de dos localidades del estado de Michoacán, registró valores para módulo de ruptura de 71 y 106 MPa en condición verde, que es aproximadamente 60 % del valor en condición seca; para *Q. resinosa* también del estado de Michoacán obtuvo valores de 83 MPa; y para *Q. laeta* de 86 MPa. Todos estos valores del Módulo de ruptura son mucho menores que los obtenidos para la madera de dichas especies procedentes de la sierra de Álvarez. Con respecto a la rigidez, los valores obtenidos por dicha autora para estas especies son ligeramente más bajos (12 390 MPa para *Q. laeta*; 14 400 MPa para *Q. obtusata* de Coacolman, Mich., y 16 690 MPa para madera de la misma especie de la región de Villa Madera, Mich.), esta menor elasticidad puede deberse a las condiciones de humedad más alta en Michoacán en comparación con las zonas sub húmedas y secas de la sierra de Álvarez.

Nájera *et al.* (2005) evaluaron madera de *Q. obtusata* procedente de El Salto, Dgo., y obtuvieron valores de 99,9 a 103,3 MPa para el módulo de ruptura (MOR) y de 11 292 a 11 684 MPa de rigidez (MOE) Sin embargo, Martínez (2009), para madera de la misma especie y procedente de la misma región, encontró posteriormente valores de resistencia (MOR) de 135,2 MPa y de rigidez (MOE) de entre 12 200 MPa y 15 300 MPa.

Tenacidad

La tenacidad se define como la reacción a un choque un choque repentino entre dos cuerpos. Un material tenaz no falla abruptamente. En particular para la

madera, la tenacidad se ha descrito como la resistencia que presenta ante una carga de impacto capaz de provocarle una falla (Bárcenas *et al.*, 2003). La madera de encinos, en general, está catalogada como una de las maderas más tenaces, junto con la del nogal, por lo que se le utiliza por ejemplo para la fabricación de bates de béisbol (Miller, 1999). En México es de las más utilizadas y recomendadas para la fabricación de mangos de herramientas, precisamente por las acciones a las que son sometidos estos implementos (de la Paz, 2000). En la Tabla 5 se presentan los resultados de los ensayos de tenacidad por impacto.

Tabla 5. Tenacidad media (J/cm³) (desviación estándar) de la madera seca de ocho especies de encinos arbóreos blancos de la sierra de Álvarez, SLP.

<i>Qar</i>	675,7 (9,2)	a
<i>Qpo</i>	614,9 (45,0)	ab
<i>Qob</i>	579,6 (131,2)	bc
<i>Qla</i>	628,9 (130,3)	bc
<i>Qgr</i>	517,9 (80,3)	bc
<i>Qch</i>	429,5 (124,0)	cd
<i>Qpl</i>	391,2 (80,3)	cd
<i>Qre</i>	320,3 (76,5)	d

Qar = *Q. ariifolia* *Qla* = *Q. laeta* *Qpo* = *Q. potosina*

Qch = *Q. chihuahuensis* *Qob* = *Q. obtusata* *Qre* = *Q. resinosa*

Qgr = *Q. grisea* *Qpl* = *Q. polymorpha*

Las literales indican diferencias estadísticamente significativas, prueba de Tukey (p < 0,05)

La especie con mayor valor de tenacidad *Q. potosina*, y la de menor valor *Q. chihuahuense*, en contraste, esta madera es la más densa. La variación de tenacidad entre especies fue considerablemente mayor que 100 %, lo cual implica restricciones de uso para ciertas especies, como *Q. resinosa* y *Q. polymorpha*. Se cuenta con poca información sobre la tenacidad de madera de encinos blancos, para contrastar los resultados obtenidos. Nájera *et al.* (2005) registraron valor de tenacidad en la madera seca de *Q. laeta* de la región de El Salto, Dgo. entre 458 y 689 J/cm³. A su vez Martínez (2009), para *Q. rugosa*, madera de encino blanco de la misma región, obtuvo valores entre 542 y 669 J/cm³. En ambos casos referidos, los valores de tenacidad registrados están dentro del intervalo de los valores obtenidos en este trabajo. El efecto del contenido de humedad no es significativo para esta propiedad de la madera (Bárcenas *et al.*, 2003) en contraposición con lo que sucede con otras propiedades mecánicas, ya que en condición verde, el agua que llena los huecos intercelulares cuando los huecos intercelulares están llenos de agua, absorbe parte de la energía del impacto, incrementando aparentemente la tenacidad de la madera (Dávalos *et al.*, inédito).

Densidad relativa

Los valores de densidad obtenidos para las ocho especies estudiadas permite que sean clasificadas como pesada sólo a *Q. laeta*, con densidades entre 0,56 a 0,69 (Tabla 5), y como muy pesadas a las otras siete, de acuerdo con la clasificación de Torelli (1982) citada por de la Paz (2000).

Tabla 6. Densidad relativa básica media (pa/vv) (desviación estándar) de la madera de ocho especies de encinos arbóreos blancos de la sierra de Álvarez, SLP.

<i>Qch</i>	0,861 (0,065)	a
<i>Qar</i>	0,799 (0,023)	ab
<i>Qob</i>	0,769 (0,088)	ab
<i>Qre</i>	0,744(0,087)	bc
<i>Qpo</i>	0,728 (0,022)	bc
<i>Qgr</i>	0,721(0,004)	bc
<i>Qpl</i>	0,696 (0,098)	bc
<i>Qla</i>	0,675 (0,018)	c

Qar = *Q. ariifolia*

Qla = *Q. laeta*

Qpo = *Q. potosina*

Qch = *Q. chihuahuensis*

Qob = *Q. obtusata*

Qre = *Q. resinosa*

Qgr = *Q. grisea*

Qpl = *Q. polymorpha*

Las literales indican diferencias estadísticamente significativas, prueba de Tukey ($p < 0,05$)

En cuanto a los valores específicos de densidad algunos obtenidos por de la Paz (2000) son muy variables, pues para *Q. obtusata* presenta valores de 0,693 para madera de la región de Coalcomán, Mich. y de 0,818 para material de la región de Villa Madera, Mich. Para *Q. laeta* el valor que obtuvo dicha autora fue de 0,746, algo mayor que el obtenido para esa especie en este estudio. Para *Q. potosina*, del estado de Durango, la misma autora obtuvo un valor de 0,767, también ligeramente mayor que el calculado para la misma especie recolectada en la sierra de Álvarez.

CONCLUSIONES

La madera de los encinos estudiados presentó un contenido promedio de celulosa de 53,0 a 67,6 %. Las especies más destacadas al respecto fueron *Q. resinosa*, *Q. laeta*, *Q. ariifolia* y *Q. obtusata*; en cambio el contenido más bajo se registró en *Q. grisea*.

Para lignina, los valores registrados varían entre 31,7 y 40,9 %; *Q. resinosa* y *Q. grisea* presentaron los porcentajes más altos, y *Q. potosina*, *Q. obtusata*, *Q. laeta* y *Q. ariifolia* los menores.

La cantidad de cenizas en las especies estudiadas fue alta con valores de de 0,9 a 6,6 %. El porcentaje más alto de cenizas se obtuvo en la madera de *Q. grisea* y los más bajos en la de *Q. obtusata*.

Para extractos en agua caliente en albura se encontró un intervalo de 8,8 a 15,5 %; la mayor cantidad de extractos se encontró en *Q. resinosa* y los valores más bajos se registraron en *Q. potosina*, *Q. polymorpha* y *Q. laeta*.

El contenido de extractos en duramen varió de 13,4 a 19,9 %, y los porcentajes más altos se encontraron en *Q. grisea*, *Q. obtusata*, *Q. chihuahuensis*, *Q. resinosa* y *Q. polymorpha* y los más bajos en *Q. laeta*.

En flexión estática todas las madera presentan valores de resistencia y rigidez de media a alta, de 63,4 Mpa a 143,3 mPa y de 6 162 a 12 972 MPa, respectivamente; su densidad fue de pesada (*Q. laeta*) a muy pesadas.

REFERENCIAS

- Anónimo. 1990. SAS User's Guide: Statistics. SAS. Institute Inc. Cary, NC. 1028 p.
- Anónimo. 1991a. Preparation of extractive free-wood. Technical Association for the Pulp and Paper Industries TAPPI Test Method T 257 om-85. TAPPI Press. Atlanta.
- Anónimo. 1991b. Acid-insoluble lignin in wood and pulp. Technical Association for the Pulp and Paper Industries TAPPI Test Method T 222 om-88. TAPPI Press. Atlanta.
- Anónimo. 1991c. Ash in wood and pulp. Technical Association for the Pulp and Paper Industries TAPPI Test Method T 211 om-85. TAPPI Press. Atlanta.
- Anónimo. 1991d. Water solubility of wood and pulp. Technical Association for the Pulp and Paper Industries TAPPI Test Method T 207 om-88. TAPPI Press. Atlanta.
- Anónimo. 2007a. Standard Test Methods for Small Clear Specimens of Timber. Annual Book of ASTM Standards. Vol 03.01. ASTM International. West Conshohocken, PA. USA. 31 p.
- Anónimo. 2007b. Standard Test Methods for Specific Gravity of Wood and Wood-Based Materials. D2395 - 07a. *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 03.01. West Conshohocken, PA. USA. 8 p.
- Bárcenas P., G.M.; R.P. Zárate M.; V.R. Ordóñez C.; A. Guerrero B.; J.A. Honorato S. 2003. Correlación de los resultados de impacto o tenacidad de 16 maderas mexicanas utilizando dos métodos de prueba. *Madera y Bosques*. 9(1): 55-70.
- Bautista H., R.; J.A. Honorato S. 2005. Composición química de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. *Ciencia Forestal*. 30: 25-50.

- Browning, B.L. 1967. Methods of wood chemistry. Interscience Publishers. London.
Vol. 2, 800 p.
- Cadahía F., E.; B. Fernández de Simón. 2004. Utilización del roble español en el envejecimiento de vinos: comparación con roble francés y americano. Monografías INIA: Serie Foresta Núm. 10: 138 p.
- Cadahia F., E.; B. Fernández de Simon F.; J. Jalocha. 2003. Volatile compounds in Spanish, French, and American oak woods after natural seasoning and toasting. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 51(20):5923-5932.
- Castillo L., P., J.A. Flores C.; J.R. Aguirre R.; R.I. Yeaton H. 2008. Dinámica del encinar de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. Madera y Bosques. 14: 21-36.
- Cendoya, R. 2003. Qué hay detrás de una barrica? Terruños. No. 7:7-9. Revista digital disponible en www.culturadelvino.org/02_actividades/terrunos_07.php. Consultada 24 de agosto de 2007.
- Chatonnet P.; D. Dubourdieu. 1998. Comparative study of the characteristics of American white oak (*Quercus alba*) and European oak (*Quercus petraea* and *Q. robur*) for production of barrels used in barrel aging of wines. American Journal of Enology and Viticulture. 49: 79-85.
- Dávalos S., R.; C.P. Pérez O.; G.M. Bárcenas P. inédito. Resistencia al impacto de la madera de diez encinos (*Quercus*) mexicanos.
- de la Paz P.O. C.P.; R. Dávalos S.; E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino. Madera y Bosques. 6(1):1-13.

- de la Paz P.O., C. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 266 p.
- Earl, L.C. 1979. Ciencia y tecnología sobre pulpa y papel. Tomo I: pulpa. CECSA. pp: 39-78.
- Fernández de Simón, B., E. Cadahía F.; E. Conde; M.C. García-Vallejo. 1999a. Ellagitannins in woods of Spanish, French and American oaks. *Holzforschung*. 53: 147-150.
- Fernández de Simón, B.; E. Cadahia F.; J. Jalocha. 2003. Volatile compounds in a Spanish red wine aged in barrels made of Spanish, French, and American oak wood. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 51(26):7671-7678.
- Fernández de Simón, B.; E. Cadahía; E. Conde; M.C. García Vallejo. 1999b. Evolution of phenolic compounds of Spanish oak wood during natural seasoning. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 47(4):1687-1694.
- Feuillat F.; R. Keller; F. Sauvageot; J.L. Puech. 1999. Characterization of French oak cooperage (*Quercus robur* L., *Q. petraea* Liebl.). *American Journal of Enology and Viticulture*. 50: 513-518.
- García S., F., J.R. Aguirre R., J. Villanueva; J. García P. 1999. Contribución al conocimiento florístico de la sierra de Álvarez, San Luis Potosí, México. *Polibotánica*. 10: 73-103.
- García S., F.; J.R. Aguirre R, Inédito. Guía de campo para la identificación de las especies arbóreas de la sierra de Álvarez S.L.P. México.
- Honorato, S. J. 2002a. Química de la madera de encinos. En: J. Quintanar O. (Editor). Características, propiedades y procesos de transformación de la

- madera de los encinos de México. Libro Técnico Núm. 2. C.E. San Martinito, INIFAP-CIRCE. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 86-106.
- Honorato S., J.A. 2002b. Propiedades físico-mecánicas de la madera de encinos. *En:* J. Quintanar O. (Ed.). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico No. 2. INIFAP-CIRCE. C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 69-85.
- Honorato, S. J.A.; J. Hernández P. 1998. Estudio químico de la madera de cinco especies del género *Quercus* del estado de Puebla. *Madera y Bosques*. 4(2):79-93.
- Jordan, A.M.; J.M. Ricardo da-Silva; O. Laureano. 2005. Comparison of volatile composition of cooperage oak wood of different origins (*Q. pyrenaica* vs *Q. alba* y *Q. petraea*). *Mitteilungen Klosterneuburg*. 55:2-33.
- Martínez C., D. 2009. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera de dos especies de encino con valor comercial en el estado de Durango. Tesis profesional. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Juárez del Estado de Durango. Durango, Dgo. México. 89 p.
- Miller, R.B. 1999. Characteristics and availability of commercially important woods. In: Anomynous. Wood handbook-Wood as an engineering material. Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Forest Products Laboratory, Forest Service, Department of Agriculture. 463 p.
- Mosedale, J. R.; A. Ford. 1996. Variation of the flavour and extractives of European oak wood from two French forests. *Journal of Science of Food and Agriculture*. 70:273-287.

- Mosedale, J. R.; F. Feuillat; R. Baumes; J.-L. Dupouey; J.-L. Puech. 1998. Variability of wood extractives among *Quercus robur* and *Quercus petraea* trees from mixed stands and their relation to wood anatomy and leaf morphology. Canadian Journal of Forest Research. 28: 1-23.
- Mosedale, J.R.; J.-L. Puech; F. Feuillat. 1999. The influence on wine flavor of the oak species and natural variation of heartwood components. American Journal of Enology and Viticulture. 50:503-512.
- Nájera L.; A. Zacarías V.; J. Méndez G.; J.J. Graciano L. 2005. Propiedades físicas y mecánicas de la madera en *Quercus laeta* Liemb. de El Salto, Dgo. Ra-Ximhai. 1(3):558-577.
- Quintanar O., J. (Editor). 2002. Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico Núm. 2. C.E. San Martinito, INIFAP-CIRCE. Tlahuapan, Puebla. México.194 p.
- Ramírez T., H. 2000. Análisis estructural del bosque de encino en la sierra de Álvarez, S.L.P. Tesis Profesional. Facultad de Agronomía, UASLP. Soledad de Graciano Sánchez, S.L.P. 46 p.
- Rzedowski, J. 1965. Vegetación del estado de San Luis Potosí. Acta Científica Potosina. 5: 5-291 p.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. Limusa. México. 432 p.
- Villa R., R. 2006. Evaluación química de la madera de dos especies de encino (*Quercus* sp.) de la sierra de Álvarez S.L.P. para la maduración del mezcal potosino. Tesis Profesional. Facultad de Ciencias Químicas, UASLP. San Luis Potosí, S.L.P. 62 p.

Zavala Ch., F. 1990. Los encinos mexicanos: un recurso desaprovechado, Ciencia y Desarrollo. 16: 43-51.

6. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

Los encinos blancos tienen una amplia distribución en las zonas montañosas de México, aunque escasamente presentan las masas homogéneas y calidad de fustes de los encinos rojos, pues las tallas de los individuos de una misma especie varían fuertemente de acuerdo con las condiciones fisiográficas en donde crecen. La madera de encino blanco posee características deseables y de alta calidad en cuanto a su apariencia, pero además es muy resistente mecánicamente y durable naturalmente, aunque presenta susceptibilidad a sufrir grietas y distorsiones severas cuando se seca inadecuadamente.

En México el uso de la madera de los encinos blancos arbóreos, es marginal y se limita a ser utilizada como combustible (carbón y leña), o regionalmente en donde los habitantes de las zonas en donde crecen sí conocen sus propiedades de manera empírica. Los encinos arbustivos, por su parte, carecen de aprovechamiento.

Un uso de alto valor agregado en nivel mundial de la madera de los encinos o robles blancos (Género *Quercus*, sección *Quercus*), cuyo crecimiento se restringe la hemisferio norte, es como materia prima en la maduración de vinos y bebidas alcohólicas, en forma de barricas nuevas o reemplazos de piezas dañadas en barricas usadas, y de otros productos alternos (tablillas, astillas y partículas).

En muchos países estos materiales se importan, principalmente de Estados Unidos y Francia, con el objetivo de competir con los productos de esos países en cuanto a sus especificaciones de maduración de vinos y aguardientes catalogados como de alta calidad. Sin embargo, los costos y requerimientos de calidad de estos tipos de madera (*Quercus robur*, de Francia, y *Q. alba*, de Estados Unidos), han

motivados a profesionales de otros países que cuentan con mayor número de especies de *Quercus* a evaluar su madera para sustituir importaciones y abatir costos. Los resultados obtenidos han sido positivos.

En México existe información sobre la identidad, ecología, riqueza y distribución de los encinos blancos que crecen en el territorio nacional. Existe información tecnológica sobre la madera de los encinos en general, pero es escasa la referida específicamente a encinos blancos; sin embargo, existen conocimientos para fundamentar la utilización de su madera de manera más redituable.

En México la industria vinícola y de aguardientes satisface su demanda de materiales de madera de encinos o robles blancos mediante importaciones.

Las cualidades deseables adquiridas por los aguardientes y vinos durante su maduración resultan de la interacción de las soluciones alcohólicas con los compuestos naturales de la madera, pero también con los compuestos generados por el tostado las duelas de madera, requerido inicialmente sólo para la fabricación de las barricas, o aplicado recientemente a otros materiales de la misma madera que que se están usando como opciones menos costosas que las barricas.

En México se producen bebidas destiladas autóctonas como el tequila, el mezcal y el sotol. El mezcal potosino posee la denominación de origen desde mayo de 1997, de la misma manera que lo tienen el tequila y otras 180 bebidas destiladas, como los whiskys escoceses e irlandeses, los rones y los brandys elaborados en diferentes países. Las normas legales y estándares de calidad de muchos de estos aguardientes implican la maduración en contacto con madera de encino blanco.

En México existen 81 especies de *Quercus* o encinos blancos en sus diferentes formas de vida, con usos pocos conocidos. En la sierra de Álvarez crecen 10 de estas especies, algunas de ellas con amplia distribución en el territorio nacional.

La metodología aplicada en este trabajo para la evaluación de las propiedades físicas y su composición química, y la propuesta desarrollada para la evaluación de sus interacciones con el mezcal potosino significan una contribución al estudio de este grupo de especies forestales de reconocida importancia ecológica.

Los porcentajes de celulosa y lignina encontrados en la madera de los encinos arbustivos y arbóreos de sierra de Álvarez, son equiparables con los registrados en general para la madera de encinos mexicanos (de la Paz, 2000; Honorato, 2002). Las proporciones de lignina y celulosa de la madera de *Q. alba* usada, encino blanco usado para maduración de vinos y aguardientes en Estados Unidos, en tonelería, son de entre 40 % y 47 % y 24 % a 28 %, respectivamente, menores que los encontrados para la maderas de este trabajo.

Los contenidos de cenizas registrados en las especies estudiadas son mucho mayores que los valores (menores que 1,0 %) descritos por Honorato (2002) para la madera de varias especies mexicanas de *Quercus*, y que los registrados por Bautista y Honorato (2005) para la madera de *Q. rugosa* (0,45 %) y *Q. oleoides* (0,74 %). La procedencia de todos los ejemplares cuya evaluación está publicada, es siempre más septentrional que los estudiados en este trabajo. El contenido de cenizas en la madera de algunos encinos blancos de Estados Unidos está en un intervalo de 0,3 % a 1,2 %, y para la de *Q. robur* se han registrado entre 0,14 % y 1,30 % (Bodirlau *et al.* 2007), muchos menores a los estimados en este estudio. Esto concuerda con lo señalado por Saka (2001), de que las especies maderables intertropicales presentan

mayores contenidos de sustancias inorgánicas que las boreales.

Los contenidos relativos de extractos con disolventes orgánicos obtenidos en este estudio son semejantes a los recopilados por Honorato (2002), y los encontrados por Bautista y Honorato (2005).

El porcentaje de las sustancias extraídas con agua caliente en las maderas objeto de este estudio son en general superiores a los de la madera de otros encinos blancos mexicanos recopilado por Honorato (2002) y del que registraron Bautista y Honorato (2005). Asimismo, dicho porcentaje, se encuentra dentro del intervalo presentado por Rowell *et al.* (2005) para los encinos blancos estadounidenses, y por Bordirlau *et al.* (2007) para los europeos.

La densidad relativa de las especies está dentro de la amplitud registrada por Bárcenas y Dávalos (2001) para otros encinos blancos en el país, pero supera a la de algunos encinos estadounidenses (Simpson y TenWolde, 1999), y es considerablemente mayor que la de *Q. robur*, el encino blanco europeo (Bordirlau *et al.*, 2007). De acuerdo con la clasificación de Dávalos y Bárcenas (1999) para maderas mexicanas, los encinos blancos de la sierra de Álvarez estarían clasificados como maderas pesadas y muy pesadas.

Las propiedades de resistencia a la flexión estática y al impacto o tenacidad de las especies estudiadas se relacionan indirectamente con su densidad relativa, lo que puede explicarse por los valores tan altos de ésta, ya que mientras mayor sea su densidad de la madera puede ser más frágil, es decir falla abruptamente ante con una menor carga y con una menor deformación (de la Paz, 2000).

Aún falta el análisis de las correlaciones entre las diferentes propiedades de las maderas para encontrar patrones que permitan proponer otros usos, y la

aplicación de esta metodología para el estudio de otras especies de *Quercus*, subgénero *Quercus* en otras regiones geográficas.

REFERENCIAS

- Bautista H., R.; J.A. Honorato S. 2005. Composición química de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. *Ciencia Forestal*. 30: 25-50.
- Bodirlau, R., I. Spiridion y C.A. Teaca. 2007. Chemical investigation of wood tree species in temperate forest in East Northern Romania. *BioReosurces* (2):41-57.
- de la Paz P.O. C.P.; R. Dávalos S.; E. Guerrero C. 2000. Aprovechamiento de la madera de encino. *Madera y Bosques*. 6(1):1-13.
- de la Paz P.O., C. 2000. Relación estructura propiedades físico-mecánicas de la madera de algunas especies de encinos (*Quercus*) mexicanos. Tesis doctoral. Facultad de Ciencias. UNAM. México, D.F. México. 266 p.
- Honorato, S. J. 2002a. Química de la madera de encinos. En: J. Quintanar O. (Editor). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico Núm. 2. C.E. San Martinito, INIFAP-CIRCE. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 86-106.
- Honorato S., J.A. 2002b. Propiedades físico-mecánicas de la madera de encinos. *En*: J. Quintanar O. (Ed.). Características, propiedades y procesos de transformación de la madera de los encinos de México. Libro Técnico No. 2. INIFAP-CIRCE. C.E. San Martinito. Tlahuapan, Puebla. México. pp. 69-85.
- Simpson, W.; A. TenWolde. 1999. Physical Properties and Moisture Relations of Wood. In: Anomynous. Wood handbook-Wood as an engineering material.

Forest Products Laboratory. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI:
U.S. Forest Products Laboratory, Forest Service, Department of Agriculture.
463 p.