

Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encino (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*)

A. C. Herrera-Fernández¹, A. Carrillo-Parra², F. E. Pedraza-Bucio¹, F. Correa-Méndez³, R. Herrera-Bucio⁴, P. López-Albarrán¹, J. G. Rutiaga-Quñones¹

¹Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera;

²Universidad Juárez del Estado de Durango, Instituto de Silvicultura e Industria de la Madera;

³Universidad Indígena Cultural de Michoacán, Desarrollo Sustentable, Tecnologías Alternativas;

⁴Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Instituto de Investigaciones Químico Biológicas

Resumen

La presente investigación se llevó a cabo para conocer la densidad de la madera, composición química y poder calorífico del duramen, albura y corteza de *Q. candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*. Para el análisis químico se determinó: pH, cenizas, microanálisis de cenizas, la solubilidad a la sosa, sustancias extraíbles, lignina, holocelulosa, celulosa y taninos. En general, el análisis de los resultados mostró diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$) entre especies y entre material lignocelulósico. En los materiales estudiados no se detectaron metales pesados. La madera de los encinos estudiados tiene alto contenido de polisacáridos y bajo contenido de lignina, por lo que se consideran adecuadas para la producción de pulpa celulósica. Debido a que la corteza de estos encinos tiene alto contenido de

sustancias extraíbles, esta biomasa pudiera ser material adecuado para explorar la presencia de sustancias fenólicas con propiedades antioxidantes. La corteza de *Q. rugosa* pudiera ser material adecuado para la extracción de taninos.

Palabras clave: *Quercus*, duramen, albura, corteza, química de la madera.

Abstract

The present investigation was carried out to know the wood density, chemical composition and calorific value of the heartwood, sapwood and bark of *Q. candicans*, *Q. laurina* and *Q. rugosa*. For the chemical analysis was determined: pH, ash, ash microanalysis, solubility to soda, extractives, lignin, holocellulose, cellulose and tannin. In general, the analysis of the results showed a significant statistical difference ($p \leq 0.05$) between species and between lignocellulosic materials. No heavy metals were detected in the materials studied. The wood of the oaks species studied has high content of polysaccharides and low content of lignin, reason why they are considered suitable for the production of pulp cellulosic. Because the bark of these oaks species has a high content of extractives, this biomass could be suitable material to explore the presence of phenolic substances with antioxidant properties. The bark of *Q. rugosa* could be suitable material for tannins extraction.

Key words: *Quercus*, heartwood, sapwood, bark, wood chemistry.

Introducción

En el estado de Michoacán, México, la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro posee bosques donde predominan especies de los géneros *Pinus* y *Quercus*, de los cuales extraen maderas que son procesadas en su complejo industrial ubicado en el municipio de San Juan Nuevo. El mayor volumen de aprovechamiento corresponde a maderas de pino y en segundo lugar a las maderas de encino, siendo las principales *Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*; este género comprende aproximadamente 250 especies que crecen en el territorio nacional (Martínez 1951) y es el segundo grupo de importancia económica después de las coníferas dada su amplia distribución y diversidad (Rzedowski 1978; Zavala 1995). Se han realizado algunos estudios en el país con maderas de encino en temas de anatomía de la misma, su caracterización física y mecánica, maquinado, así como secado y química de la madera, como lo señalan algunas referencias bibliográficas (Rutiaga et al. 1999; Rutiaga et al. 2000; Bautista y Honorato 2005).

Recientemente destacan algunas investigaciones sobre química de la corteza (Rosales et al. 2011; Rosales et al. 2012) y follaje (Rocha et al. 2012; Moreno et al. 2015; García et al. 2017) de algunas especies de este género.

Dado lo anterior y con la finalidad de conocer cuantitativamente los componentes químicos principales del duramen, albura y corteza de los encinos (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*) que utiliza la comunidad indígena en su complejo industrial, se realiza el presente trabajo que complementa otros estudios con maderas de coníferas (Lima 2013) y con los subproductos de pinos y encinos que se generan en la transformación de la madera en dicha comunidad (Cárdenas 2014; Pintor 2014; Argueta 2016; Lazcano et al. 2016; Pérez et al. 2016). Para esta comunidad es importante conocer los datos sobre las propiedades químicas de sus maderas, ya que ellos están interesados en aprovechar óptima e integralmente sus recursos maderables, así como los residuos de la biomasa generada en los procesos industriales. De esta manera, con el alcance de la presente investigación se espera aportar conocimiento que pueda en un futuro promover usos alternativos de sus recursos lignocelulósicos.

TABLA 1

Datos generales de los árboles de encino estudiados.

Especie	asnm (m)	Coordenadas en el predio	Diámetro a 1.30m (cm)	Altura total (m)
<i>Q. candicans</i> Née.	2375	19°25'06.0", 102°11'38.6"	32.0	22.7
<i>Q. laurina</i> Humb. & Bonpl.	2349	19°25'01.1", 102°11'28.9"	30.0	21.7
<i>Q. rugosa</i> Née.	2343	19°25'00.7", 102°11'29.2"	28.0	19.9

Materiales y métodos

Material de estudio

Las especies de encino estudiadas fueron: *Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa* (Tabla 1). El material de los tres encinos se obtuvo del aprovechamiento forestal de la comunidad indígena (Figuras 1, 2, y 3) y de un árbol por especie se tomó a la altura de 1.30 m del tocón, una rodaja de aproximadamente 30 cm de espesor y de ella se obtuvo una rodaja de 2 cm de espesor para determinar la

Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encino...

densidad de la madera. Del resto de la rodaja se separó el duramen, la albura y la corteza, luego este material se trituro y se dejó secar al aire libre, posteriormente se molió y se tamizó obteniendo harina malla 40 (420 μm), la cual se almacenó en frascos de plástico sellados, hasta ser utilizada. Previo al análisis químico se determinó por triplicado el porcentaje de humedad de cada muestra por el método de deshidratación T 264 cm-97 (TAPPI, 2000a).



Figura 1. Quercus candicans (árbol, fuste y rodaja).



Figura 2. Quercus laurina (árbol, fuste y rodaja).

Densidad de la madera

De la rodaja de 2 cm de espesor se obtuvieron 20 cubos de 2cm x 2cm x 2cm, se midieron y pesaron antes de ser llevados a una estufa de secado convencional con temperatura de 105 °C. Una vez secos, se pesaron y se relacionó el peso seco sobre volumen verde (Fuentes s/f).



Figura 3. Quercus rugosa (árbol, fuste y rodaja).

Análisis químico

El análisis químico comprendió la determinación de pH (Sandermann y Rothkamm 1959), el contenido de sustancias inorgánicas mediante la técnica T 211 om-93 (TAPPI 2000b), el microanálisis de las cenizas (Téllez et al. 2010), la solubilidad a la sosa de acuerdo a la técnica T 212 om-98 (TAPPI 2000c), la solubilidad frente a solventes orgánicos, la cantidad de lignina (Runkel y Wilke 1951), de holocelulosa (Wise et al. 1946), de celulosa de acuerdo a la norma D-1103-60 (ASTM 1981) y el contenido de taninos (Yasaki et al. 1993; Yasaki y Hillis 1980). Para la solubilidad en solventes se aplicó una extracción sucesiva en equipo Soxhlet utilizando ciclohexano, acetona y metanol y finalmente agua caliente bajo reflujo; en cada caso la extracción duró 6 h. La harina después de la extracción se denomina “harina libre de extractos” y se utiliza para determinar los componentes de la pared celular. El contenido de hemicelulosas se calculó por diferencia entre la holocelulosa y la celulosa. Los análisis químicos se realizaron por triplicado.

Poder calorífico

El poder calorífico se determinó en harina natural (sin extraer), en harina “libre de extractos” y también en la lignina y en la holocelulosa aisladas de los diferentes tejidos (duramen, albura y corteza). De cada tipo de material se elaboraron 4 tabletas (pastillas), de 0.5 g en base seca, en una prensa de laboratorio, aplicando una presión de 1,000 Kg/cm². El poder calorífico en las diferentes muestras preparadas se determinó utilizando una bomba calorimétrica Parr, modelo 6772, empleando la técnica T Parr 1341 ns-78 (TAPPI 2000d).

Análisis estadístico

Los datos recabados se evaluaron estadísticamente mediante un análisis de varianza, donde los factores fueron la especie de madera y el tipo de material

lignocelulósico y para determinar la diferencia estadística se utilizó la prueba de rangos múltiples (LSD), a 95% de confianza estadística, utilizando el programa Statistics.

Resultados y discusión

Densidad básica de la madera

En la Tabla 2 aparece el valor de la densidad de cada madera con diferencia estadística significativa. Estos valores calculados se encuentran en el rango reportado por Sotomayor (2008) para las mismas especies, así la madera de *Q. rugosa* se clasifica como de densidad media (401 a 600 kg/m³), mientras que la de *Q. candicans* y de *Q. laurina* se ubica en la clasificación de alta densidad (601 a 800 kg/m³).

TABLA 2

Resultados de la densidad básica de las maderas de encino (kg/m³).

<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
707.7a	664.7b	543.5c

Letras desiguales en renglón indican diferencia estadística significativa ($p \leq 0.05$).

TABLA 3

Valores de pH en duramen, albura y corteza de los encinos (harina sin extraer).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	5.14Aa	5.08Aa	4.54Ba
Albura	4.98Aa	5.12Aa	4.95Ab
Corteza	5.42Ab	4.92Ba	4.91Bb

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$). Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Análisis químico

Valor de pH. Los valores encontrados de pH en la harina sin extraer, con diferencia estadística significativa en pocas muestras aparecen en la Tabla 3 y varían de 4.54 a 5.42, ubicándose dentro del rango de 4 a 6 y clasificándose como “ligeramente ácidas (Kollmann 1959). Estos valores son cercanos a los reportados para algunos encinos (Volz 1971; Rutiaga 2001; Bautista y Honorato 2005).

Los valores de pH determinados en la harina después de la extracción con solventes orgánicos y agua aparecen en la Tabla 4. Estos resultados, sin diferencia estadística significativa, a excepción del duramen de *Q. rugosa*, variaron de 5.03 a 5.97, y al comparar estos valores con los del pH en harina sin extraer (Tabla 3) se observa claramente que en todos los casos el pH del material libre de sustancias extraíbles es menos ácido, lo que comprueba que las sustancias extraíbles influyen en el pH de los materiales lignocelulósicos (Fengel y Wegener 1984).

TABLA 4

Valores de pH en duramen, albura y corteza de los encinos (harina libre de extractos).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	5.90Aa	5.68Aa	5.03Ba
Albura	5.61Aa	5.89Aa	5.40Ab
Corteza	5.97Ab	5.63Aa	5.60Ab

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

TABLA 5

Contenido de cenizas en duramen, albura y corteza de los encinos (%).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	0.95Aa	0.75Ba	0.63Ca
Albura	0.55Ab	0.49Ab	0.78Bb
Corteza	2.36Ac	3.25Bc	9.26Cc

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Sustancias inorgánicas (cenizas). La cantidad de sustancias minerales en las maderas estudiadas, con diferencia estadística significativa, varió de 0.49 a 9.26% (Tabla 5). Claramente se aprecia que la corteza es más rica en sustancias inorgánicas, lo que coincide con la literatura (Kollmann 1959; Fengel y Wegener 1984). En relación a la madera (duramen y albura) los resultados obtenidos están dentro el rango reportado que va de 0.1 a 1.0% (Fengel y Wegener 1984) y son semejantes a valores reportados previamente para algunas especies de encinos (Rutiaga et al. 2000; Bautista y Honorato 2005).

TABLA 6

Elementos químicos en las cenizas de los encinos (%).

<i>Quercus candicans</i>											
Duramen											
F	Na	Mg	Al	Si	P	S	Cl	K	Ca	Mn	Fe
8.29	ND	15.39	ND	0.27	0.98	0.53	ND	53.94	20.60	ND	ND
Albura											
ND	3.24	4.68	4.31	6.11	5.27	1.58	14.94	42.37	15.86	0.64	1.00
Corteza											
ND	ND	9.74	ND	0.12	3.84	0.14	ND	30.44	55.54	ND	ND
<i>Quercus laurina</i>											
Duramen											
ND	ND	5.38	ND	0.11	0.33	0.34	ND	67.37	26.46	ND	ND
Albura											
ND	ND	14.54	ND	0.85	5.59	0.82	ND	46.40	31.80	ND	ND
Corteza											
ND	ND	5.97	ND	0.01	0.66	0.05	ND	13.19	80.13	ND	ND
<i>Quercus rugosa</i>											
Duramen											
ND	ND	7.98	7.77	0.54	5.87	0.79	ND	52.09	25.02	ND	ND
Albura											
7.65	ND	16.19	ND	ND	6.45	0.57	ND	38.42	30.72	ND	ND
Corteza											
ND	ND	7.16	ND	0.10	0.38	0.13	ND	6.56	85.67	ND	ND

ND = no detectado

Microanálisis de las cenizas. La Tabla 6 muestra el resultado del microanálisis de las cenizas y se observa variedad en la presencia de los elementos químicos detectados en las diferentes muestras. Este resultado revela la típica presencia mayoritaria de los elementos químicos más comunes en la madera (potasio, calcio y magnesio) (Fengel y Wegener 1984). En general el resultado obtenido coincide con resultados previos reportados para diferentes maderas (Rutiaga et al. 2000; Rutiaga 2001; Martínez et al. 2012; Correa et al. 2013; Correa et al. 2014; Martínez et al. 2015; Ngangyo et al. 2016). El material más rico en elementos químicos correspondió a *Q. candicans* (24), seguido de *Q. rugosa* (19) y finalmente *Q. laurina* (18).

Solubilidad a la sosa. El resultado de la solubilidad del material lignocelulósico de los tres encinos frente a sosa al % se presenta en la Tabla 7 y se encontró diferencia estadística significativa. El resultado de este análisis destaca que la corteza presenta mayores valores de solubilidad y los datos obtenidos coinciden con reportes previos de la literatura para maderas de latifoliadas (Rowell 1984).

TABLA 7

Solubilidad a la sosa en duramen, albura y corteza de los encinos (%).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	20.28Aa	20.95Aa	26.99Ba
Albura	23.32Ab	21.07Ba	20.37Cb
Corteza	26.03Ac	25.25Bb	27.78Ca

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Sustancias extraíbles. El resultado del contenido de sustancias extraíbles o solubilidad de las muestras de material lignocelulósico estudiadas frente a la secuencia sucesiva de extracción aplicada aparece en la Tabla 8. Los valores encontrados reflejan el carácter polar de los solventes utilizados y en todos los casos se observa que las muestras presentan poca solubilidad frente a ciclohexano, es decir, la cantidad de sustancias no polares es baja, lo que también se ha encontrado en otra madera de encino, *Q. laurina*, con valores semejantes al resultado aquí obtenido (Rutiaga 2001). Por otra parte se aprecia que la mayor solubilidad de las muestras fue con acetona y metanol, es decir, mayor contenido de sustancias de polaridad media, lo que coincide con otros estudios realizados con especies de encino (Rutiaga 2001; Bautista y Honorato 2005). Al observar la suma total o solubilidad total, se aprecia que al comparar duramen con albura, el primero es más rico en sustancias extraíbles que la albura, coincidiendo con reportes previos (Fengel y Wegener 1984; Rutiaga 2001; Bautista y Honorato 2005), asimismo en general la corteza resultó con mayor contenido de sustancias extraíbles, lo que concuerda con la literatura (Fengel y Wegener 1984). El contenido total de sustancias extraíbles varió de 6.94% para albura de *Q. laurina*, valor semejante reportado para la misma especie (Rutiaga 2001) a 17.42% para el duramen de *Q. rugosa* y esta misma especie resultó ser la más rica en sustancias extraíbles, en comparación con las otras dos.

TABLA 8

Contenido de sustancias extraíbles en las muestras de encino (%).

		<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Ciclohexano	Duramen	0.32Aa	0.25Ba	0.39Ca
	Albura	0.19Ab	0.12Bb	0.19Ab
	Corteza	0.39Ac	0.48Bc	0.87Cc
Acetona	Duramen	2.46Aa	3.02Ba	8.31Ca
	Albura	3.53Ab	2.78Bb	4.25Cb
	Corteza	3.55Ab	4.58Bc	4.65Cc
Metanol	Duramen	3.41Aa	3.31Aa	4.35Ba
	Albura	3.45Aa	2.45Bb	3.18Cb
	Corteza	5.31Ab	5.39Ac	5.96Bc
Agua caliente	Duramen	2.84Aa	1.92Ba	4.37Ca
	Albura	1.39Ab	1.59Bb	2.33Cb
	Corteza	2.71Aa	2.62Ac	5.78Bc
Solubilidad total	Duramen	9.03	8.50	17.42
	Albura	8.56	6.94	9.95
	Corteza	11.96	13.07	17.26

NOTA: la comparación de medias no se realizó entre los solventes empleados, sino solamente dentro del solvente para cada especie de encino y el tipo de material lignocelulósico.

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Lignina Runkel. En la Tabla 9 se presenta el resultado del contenido de lignina Runkel en las muestras estudiadas y los valores van de 14.67% (albura) a 34.67% (corteza) para *Q. laurina*, encontrando diferencias estadísticas significativas entre

las especies y los tejidos estudiados. La proporción de lignina coincide en general con reportes previos para madera del mismo género (Rutiaga et al. 2000; Rutiaga 2001; Bautista y Honorato 2005).

TABLA 9

Cantidad de lignina Runkel en las muestras de encino (%).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	16.45Aa	19.37Ba	16.16Aa
Albura	18.93Ab	14.67Bb	18.84Ab
Corteza	29.01Ac	34.67Bb	22.83Cc

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Holocelulosa. El contenido de holocelulosa en las muestras de encino aparece en la Tabla 10, con diferencia estadística significativa, cuyos valores varían de 81.63% (albura) a 90.72% (duramen) para *Q. rugosa*, y se encuentran arriba del rango reportado para algunos encinos americanos (Fengel y Wegener 1984), diferencia que pudiera deberse al método empleado para aislar la holocelulosa, sin embargo, estos resultados están en general dentro del rango reportado para maderas de latifoliadas (Fengel y Wegener 1984).

Tabla 10

Proporción de holocelulosa en las muestras de encino (%).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	86.34Aa	88.82Ba	90.72Ca
Albura	84.35Ab	84.93Ab	81.63Bb
Corteza	83.91Ab	81.93Bc	83.98Ac

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

α -celulosa. El contenido de α -celulosa en los encinos estudiados se da en la Tabla 11, presentando diferencia estadística significativa y los resultados encontrados varían de 42.32% (corteza) a 66.12% (duramen) para *Q. rugosa* y son altos en comparación con reportes previos para madera de encinos nacionales (Honorato y Hernández 1998; Bautista y Honorato 2005), diferencia que pudiera deberse al método analítico para su determinación.

TABLA 11

Cantidad de α -celulosa en las muestras de encino (%).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	58.44Aa	55.55Ba	66.12Ca
Albura	62.45Ab	61.41Bb	62.57Ab
Corteza	62.15Ab	59.21Bc	42.32Cc

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Hemicelulosas. En la Tabla 12 se presenta el resultado del contenido de hemicelulosas en las muestras estudiadas, con diferencia estadística significativa, y los valores van de 19.06% (albura) a 41.65% (corteza) para *Q. rugosa*, y son cercanos a los reportados para encinos americanos (Fengel y Wegener 1984), a excepción del valor encontrado para la corteza de *Q. rugosa*, que es alto.

Tabla 12

Cantidad de hemicelulosas en las muestras de encino (%).

	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Duramen	27.90Aa	33.27Ba	24.27Ca
Albura	21.90Ab	23.51Bb	19.06Cb
Corteza	22.04Ab	22.72Ac	41.65Bc

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Contenido de taninos. A continuación se presentan los resultados para el contenido de taninos (Tabla 13) que se obtuvieron en medio acuoso y medio etanólico, encontrando diferencias estadísticas significativas. Para el caso de la extracción acuosa, los valores van de 0.35% (albura de *Q. rugosa*) a 2.70% (corteza de *Q. candicans*) y son menores a los reportados para otras especies del mismo género (Bautista y Honorato 2005), sin embargo, los resultados aquí obtenidos mediante la extracción etanólica son mayores a los reportados por estos autores. En este proceso de extracción etanólica, los valores variaron de 0.74 (albura) a 11.69% (corteza) de *Q. rugosa*, y al observar los datos de la Tabla 13, queda de manifiesto que con etanol el rendimiento fue mayor en comparación con la extracción acuosa. Finalmente, para ambos tipos de extracción, el orden de menor

a mayor concentración de taninos el comportamiento es el siguiente: albura, duramen y corteza.

TABLA 13

Contenido de taninos en las muestras de encino (%).

		<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Extracción acuosa	Duramen	0.71Aa	0.60Ba	0.86Ca
	Albura	0.46Ab	0.41Ab	0.35Bb
	Corteza	2.70Ac	2.68Ac	2.46Bc
Extracción etanólica	Duramen	2.73Aa	2.22Ba	2.04Ba
	Albura	2.33Ab	1.94Ab	0.74Bb
	Corteza	5.34Ac	5.06Bc	11.69Cc

NOTA: la comparación de medias no se realizó entre los dos métodos de extracción, sólo en cada proceso de extracción para las especies de encino y los materiales lignocelulósicos.

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Se estima que el contenido mínimo de tanino que debe tener una materia prima para ser considerada con potencial de comercialización va de 8 a 10% (Happich et al. 1954; Kirk 1962; Mule y Gonzáles 1973; Rowe y Conner 1979), así que los resultados aquí obtenidos indican que sólo la corteza de *Q. rugosa*, pudiera ser utilizada con este fin, aunque sería necesario evaluar la pureza de su tanino.

Poder calorífico. La tabla 14 resume el resultado de la determinación del poder calorífico en las muestras estudiadas. Para el caso de la harina original, es decir, sin haber sido sometida al proceso de extracción con solventes, los valores varía de 15.78 (corteza de *Q. rugosa*) a 17.92 MJ/kg (albura de *Q. laurina*), no encontrando diferencia estadística significativa, a excepción de la corteza de *Q. rugosa*. Estos datos están en concordancia con reportes previos sobre el poder calorífico en madera y corteza de diferentes especies (Fengel y Wegener 1984; Martínez et al. 2012; Martínez et al. 2015; Ngangyo et al. 2016). Para el caso de la determinación del poder calorífico en harina libre de extractos, cuyos valores variaron de 15.68 (corteza) a 17.92 MJ/kg (duramen) para *Q. rugosa*, no se encontró diferencia estadística significativa, a excepción de la muestra de corteza de *Q. rugosa*. Al observar los valores de poder calorífico en harina sin extraer y en harina libre de

Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encino...

extractos, se aprecia en general una ligera disminución en los valores de la harina libre de extractos, lo que coincide con la literatura, pues es conocido que las sustancias extraíbles tienden a incrementar el poder calorífico de la madera, pero sobre todo en maderas de coníferas (Kollmann 1959).

TABLA 14

Poder calorífico en las muestras de encino (MJ/kg).

Solvente	Tejido	<i>Q. candicans</i>	<i>Q. laurina</i>	<i>Q. rugosa</i>
Harina original	Duramen	17.70Aa	17.83Aa	17.60Aa
	Albura	17.55Aa	17.92Aa	17.48Aa
	Corteza	17.71Aa	17.85Aa	15.78Bb
Harina libre de extractos	Duramen	17.48Aa	17.86Aa	17.92Aa
	Albura	17.78Aa	17.75Aa	17.65Aa
	Corteza	17.65Aa	17.67Aa	15.68Bb
Lignina	Duramen	22.47Aa	23.04Aa	23.10Aa
	Albura	23.49Aa	23.22Aa	23.30Aa
	Corteza	23.84Aa	23.05Aa	23.80Aa
Holocelulosa	Duramen	16.32Aa	16.17Aa	15.98Aa
	Albura	15.93Aa	16.34Aa	16.03Aa
	Corteza	16.07Aa	16.05Aa	14.22Bb

NOTA: la comparación de medias sólo se realizó en cada componente (harina sin extraer, harina libre de extractos, lignina y holocelulosa) para las especies de encino y los materiales lignocelulósicos.

Letra mayúscula igual en renglón indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

Letra minúscula igual en columna indica igualdad estadística ($p \leq 0.05$).

El poder calorífico para el caso de los componentes de la pared celular aislados (lignina y holocelulosa) se comportó de la manera siguiente. Para la lignina los resultados variaron de 22.47 (duramen) a 23.84 MJ/kg (corteza) en *Q. candicans*, sin diferencia estadística significativa, ni entre especies ni entre tipo de material lignocelulósico. Este resultado coincide con la literatura en el hecho de la que la

lignina tiene mayor poder calorífico que la madera (Kollmann 1959; Fengel y Wegener 1984). Para la holocelulosa los valores determinados variaron de 14.22 (corteza de *Q. rugosa*) a 16.34 MJ/kg (albura de *Q. laurina*), sin diferencia estadística significativa, a excepción de la corteza de *Q. rugosa*. Al observar estos resultados se aprecia claramente que el poder calorífico de la holocelulosa (celulosa y hemicelulosas) es menor en comparación con el de la lignina, lo que concuerda con la literatura (Kollmann 1959; Fengel y Wegener 1984).

Conclusiones

Se encontraron diferencias estadísticas significativas en el contenido de componentes químicos en *Quercus candicans*, *Q. lauriana* y *Q. rugosa*. La densidad de la madera corresponde a la siguiente clasificación: *Q. candicans* (alta), *Q. laurina* (alta) y *Q. rugosa* (media). Los materiales estudiados presentan pH ligeramente ácido. Se encontró que los elementos químicos mayoritarios en las muestras estudiadas fueron el calcio, potasio y magnesio y no se detectaron metales pesados. El contenido total de sustancias extraíbles presentó el siguiente comportamiento: corteza > duramen > albura. La madera de los encinos estudiados contiene alto contenido de polisacáridos lo que la sitúa como adecuada para la obtención de pulpa celulósica. En relación al poder calorífico se encontró que el comportamiento de mayor a menor fue: lignina > harina sin extraer > harina libre de extractos > holocelulosa. Por el valor encontrado de taninos en la corteza de *Q. rugosa*, esta biomasa pudiera ser utilizada para la extracción de taninos.

El presente trabajo es dedicado a la memoria del Ing. Jesús Zárate Hernández (FITECMA – UMSNH).

Agradecimientos

Los autores agradecen en apoyo al proyecto CB-166444 aprobado por CONACYT y a la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, del estado de Michoacán.

Bibliografía

Argueta-Solís, M. G. 2016. Capacidad antioxidante de los extractos de madera y corteza de tres especies de encino (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*) del complejo industrial de la Comunidad Indígena de San Juan

- Parangaricutiro, del Estado de Michoacán. Tesis de Licenciatura. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- ASTM (American Society for Testing and Materials). 1981. Annual Book of ASTM Standards. Section four. Construction. Volume 04.10 Wood. West Conshohocken, PA. 708 p.
- Bautista H., R., y J.A. Honorato S. 2005. Composición química de la madera de cuatro especies del género *Quercus*. Revista Ciencia Forestal en México 30(98): 25-49.
- Cárdenas-Gutiérrez, M.A. 2014. Composición química de las ramas de seis especies de latifoliadas de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Correa-Méndez, F., A. Carrillo-Parra, J.G. Rutiaga-Quiñones, H. González-Rodríguez, E. Jurado-Ybarra y F. Garza-Ocañas. 2013. Humedad, ceniza e inorgánicos en corteza industrial de tres pinos para bioenergía. REVISTA FORESTAL BARACOA 32(2): 77-83.
- Correa-Méndez, F., A. Carrillo-Parra, J.G. Rutiaga-Quiñones, F. Márquez-Montesino, H. González-Rodríguez, E. Jurado-Ybarra y F. Garza-Ocañas. 2014. Contenido de humedad y sustancias inorgánicas en subproductos maderables de pino para su uso en pélets y briquetas. Moisture and inorganic substance content in pine timber products for use in pellets and briquettes. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente Vol. XX(1): 77-88.
- Fengel, D., and G. Wegener. 1984. Wood chemistry, ultrastructure, reactions. Berlin: Walter de Gruyter & Co.
- Fuentes-Salinas, M. s/f. Apuntes para el Curso de Tecnología de la Madera (I). Serie de Apoyo Académico No. 33. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. México. 99p.
- García-Villalba, R., J.C. Espín, F.A. Tomás-Barberán and N.E. Rocha-Guzmán. 2017. Comprehensive characterization by LC-DAD-MS/MS of the phenolic composition of seven *Quercus* leaf teas. Journal of Food Composition and Analysis 63: 38-46.
- Happich, M.L., C.W. Beebe and J.S. Rogers. 1954. Tannin evaluation of one hundred sixty-three species of plants. American Leather Chemists Association 49(12): 760-773.

- Honorato, S., J.A. y 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.
- Kirk, O. 1962. *Encyclopedia of chemical technology* (Vol. 19). John Wiley & Sons.
- Kollmann, F. 1959. *Tecnología de la madera y sus aplicaciones* (Vol. Tomo I). Inst. For. de Invest. y Exp. y el Serv. de la Mad. Madrid, España.
- Lazcano-Cortés, J., F. Correa-Méndez, Y. Martínez-López, J.G. Rutiaga-Quiñones, Garza-Ocañas, F. y A. Carrillo-Parra. 2016. Capítulo 9 Propiedades químicas de la madera de cuatro coníferas y su relación con la producción de bioenergía, pp 176-186. In: Rutiaga-Quiñones, J.G. y A. Carrillo-Parra (Eds.). 2016. *Química de los materiales lignocelulósicos y su potencial bioenergético*. sierke Verlag. Germany.
- Lima-Rojas, L. 2013. *Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.
- Martínez, M. 1951. Los encinos de México. *An. Inst. Biol. Méx.* XXII. E. *In: Serie Técnica No. 8* (1981). Comisión Forestal. Michoacán. México.
- Martínez-Pérez, R., F.E. Pedraza-Bucio, J. Apolinar-Cortes, J. López-Miranda y J. G. Rutiaga-Quiñones. 2012. Poder calorífico y sustancias inorgánicas de la corteza de seis árboles frutales. Calorific value and inorganic material in the bark of six fruit trees. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente XVIII* (3) (agosto-diciembre): 375-384.
- Martínez-Pérez, R., F.E. Pedraza-Bucio, R. Orihuela-Equihua, P. López-Albarrán and J.G. Rutiaga-Quiñones. 2015. Calorific value and inorganic material of ten mexican wood species. *Wood Research* 60(2): 281-292.
- Moreno-Jiménez, M.R., F. Trujillo-Esquivel, M.A. Gallegos-Corona, R. Reynoso-Camacho, R.F. González-Laredo, J.A. Gallegos-Infante, N.E. Rocha-Guzmán and M. Ramos-Gómez. 2015. Antioxidant, anti-inflammatory and anticarcinogenic activities of edible red oak (*Quercus* spp.) infusions in rat colon carcinogenesis induced by 1,2-dimethylhydrazine. *Food and Chemical Toxicology* 80: 144–153.
- Mule, E.L. and E.V. Gonzáles. 1973. *Studies on the tannin extracts from the barks of six hardwood species*. (Vol. II). Philippines: Forpride digest
- Ngangyo-Heya, M., R. Foroughbahchik-Pournavab, A. Carrillo-Parra, J.G. Rutiaga-Quiñones, V. Zelinski, L.F. Pintor-Ibarra. 2016. Calorific Value and Chemical Composition of Five Semi-Arid Mexican Tree Species. *Forests* 7(58): 1-12.

- Pérez-Pérez, J.E., A. Carrillo-Parra, J.G. Rutiaga-Quiñones, V. Bustamante-García y F. Garza-Ocañas. 2016. Efecto del tipo de material, presión y temperatura en la densidad de briquetas de residuos industriales de tres especies del género *Pinus*. *Ciencia Nicolaita*. 68: 80-89.
- Pintor-Ibarra, L.F. 2014. Determinación de las propiedades físicas y químicas de los residuos maderables de tres especies de coníferas (*Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*) del complejo industrial de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. Tesis de Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.
- Rosales-Castro, M., R.F. González-Laredo, N.E. Rocha-Guzmán, J.A. Gallegos-Infante, J. Peralta-Cruz, J. Morré and J.J. Karchesy. 2011. Chromatographic Analysis of Bioactive Proanthocyanidins from *Quercus durifolia* and *Quercus eduardii* Barks. *Acta Chromatographica* 23(3): 521–529.
- Rosales-Castro, M., R.F. González-Laredo, N.E. Rocha-Guzmán, J.A. Gallegos-Infante, M.J. Rivas-Arreola and J.J. Karchesy. 2012. Antioxidant activity of fractions from *Quercus sideroxylo* bark and identification of proanthocyanidins by HPLC-DAD and HPLC-MS. *Holzforschung* 66: 577–584.
- Rocha-Guzmán, N.E., J.R. Medina-Medrano, J.A. Gallegos-Infante, R.F. González-Laredo, M. Ramos-Gómez, R. Reynoso-Camacho, H. Guzmán-Maldonado and S.M. González-Herrera. 2012. Chemical Evaluation, Antioxidant Capacity, and Consumer Acceptance of Several Oak Infusions *Journal of Food Science* 77(2): 162-166.
- Rowe, J.W. and A.H. Conner. 1979. Extractives in Eastern hardwoods – e review (pp. 67).
- Rowell, M.R. 1984. *The chemistry of Solid Wood*. American Chemical Society, Washington, D. C. U.S.A.
- Runkel, R. And Y.K.D. Wilke. 1951. Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. *Holz als Roh- und Werkstoff* 9(7): 260-270.
- Rutiaga Q., J.G., E. Windeisen and C. Strobel. 2000. Composición química del duramen de la madera de *Quercus candicans* Née. *Madera y Bosques* 6(2): 73-80.
- Rutiaga-Quiñones, J.G. 2001. *Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten and ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden pilzen*. Buchverlag Graefelfing. Munchen.

- Rutiaga-Quiñones, J.G., E. Windeisen, P. Schumacher and G. Wegener. 1999. Antifungal effect of extracts from *Quercus laurina* Humb. et Bonpl. Currents Topics in Phytochemistry (2): 191-194.
- Rzedowski, J. 1978. Vegetación de México. LIMUSA. México.
- Sandermann, W. and M. Rothkamm. 1959. Über die Bedeutung der pH-Werte von Handelsholzern und deren Bedeutung für die Praxis. Holz als Roh- und Werkstoff 17(11): 433-440.
- Sotomayor-Castellanos, J.R. 2008. TABLA FITECMA de clasificación de características mecánicas de maderas mexicanas. U.M.S.N.H. Morelia, Michoacán, México. 2ª Edición.
- TAPPI (Technical Association of the Pulp and Paper Industry). 2000a. TAPPI test methods, T 264 cm-97. Preparation of Eood for Chemical Analysis. Atlanta: TAPPI Press.
- TAPPI. 2000b. TAPPI test methods, T 211 om-93. Ash in Wood and Pulp. Atlanta: TAPPI Press.
- TAPPI. 2000c. TAPPI test methods, T 212 om-98, One Percent Sodium Hydroxide Solubility of Wood and Pulp. Atlanta: TAPPI Press.
- TAPPI. 2000d. TAPPI test methods, T parr-1341 ns 78, Determination of Combustion Heats in Black Liquor of Chemical Pulping Processes and other Substances. Atlanta: TAPPI Press.
- Téllez-Sánchez, C., H.G. Ochoa-Ruiz, R. Sanjuán-Dueñas y J.G. Rutiaga-Quiñones. 2010. Componentes químicos del duramen de *Andira inermis* (W. Wright) DC. (*Leguminosae*) Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 16(1): 87-93.
- Volz, K.R. 1971. Holz-Zentralbl. 97, 1783.
- Wise, L.E., M. Murphy and A.A. D'Addieco. 1946. Chlorite holocellulose, its fraction and bearing on summative wood analysis and on studies on hemicelluloses. Paper Trade J 122: 35-43.
- Yazaki, Y., R. Gu, Y. Lin, W. Chen and K.Nguyen. 1993. Analysis of black wattle (*Acacia mearnsii*) tannins- Relationships among the hidepowder, the Stiasny and the ultraviolet (UV) methods. Holzforschung 47(1): 57-61.
- Yazaki, Y. and W.E. Hillis. 1980. Molecular size distribution of radiate pine bark extracts and its effect on properties. Holzforschung 34: 125-130.
- Zavala, C.F. 1995. Encinos y Robles. Notas fitogeográficas. Difusión Cultural. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. México.