



PODER CALORÍFICO Y MATERIAL INORGÁNICO EN LA CORTEZA DE SEIS ÁRBOLES FRUTALES

CALORIFIC VALUE AND INORGANIC MATERIAL IN THE BARK OF SIX FRUIT TREES

Ricardo Martínez-Pérez¹; Fabiola E. Pedraza-Bucio¹; José Apolinar-Cortes²; Javier López-Miranda³; J. Guadalupe Rutiaga-Quñones^{1*}

¹Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera (FITECMA). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH). Apartado postal núm. 580, Col. Centro. C. P. 58000. Morelia, Michoacán, México. Correo-e: rutiaga@umich.mx (*Autor para correspondencia).

²Facultad de Ingeniería Química. UMSNH. Apartado postal núm. 580, Col. Centro. C. P. 58000. Morelia, Michoacán, México.

³Departamento de Ingenierías Química y Bioquímica. Instituto Tecnológico de Durango. Boulevard Felipe Pescador 1830 Ote., Col. Nueva Vizcaya. C. P. 34080. Durango, Dgo., México.

RESUMEN

El poder calorífico y el contenido de sustancias minerales (cenizas) se determinaron en la corteza de seis especies arbóreas frutales (*Annona cherimola* Mill., *Citrus aurantifolia* Swingle, *Malus domestica* Borkh., *Psidium guajava* L., *Prunus dulcis* [Mill.] D. A. Webb y *Tamarindus indica* L.). Las cenizas obtenidas fueron analizadas mediante rayos X. Los valores encontrados de poder calorífico variaron de 3,453.49 kcal·kg⁻¹ en *T. indica* a 4,076.10 kcal·kg⁻¹ en *P. guajava*. En el caso de las cenizas, los resultados fluctuaron de 5.76 % en *P. guajava* a 21.93 % en *T. indica*. Se observó que un contenido mayor de minerales en las cortezas tiende a disminuir su poder calorífico. Los elementos químicos comunes en las muestras analizadas fueron calcio, potasio, magnesio, fósforo y azufre. No se detectaron metales pesados en las muestras de la corteza.

Recibido: 29 de mayo de 2011
Aceptado: 05 de junio de 2012
doi: 10.5154/r.rchscfa.2011.05.039
<http://www.chapingo.mx/revistas>

PALABRAS CLAVE: Latifoliadas, combustión, contenido de cenizas, elementos químicos, análisis por rayos X.

ABSTRACT

Calorific value and mineral matter (ash) content were determined in the bark of six fruit tree species (*Annona cherimola* Mill., *Citrus aurantifolia* Swingle, *Malus domestica* Borkh., *Psidium guajava* L., *Prunus dulcis* [Mill.] D. A. Webb and *Tamarindus indica* L.). Ashes obtained were analyzed by X-ray. The calorific values found ranged from 3,453.49 kcal·kg⁻¹ in *T. indica* to 4,076.10 kcal·kg⁻¹ in *P. guajava*. In the case of the ashes, the results ranged from 5.76 % in *Psidium guajava* to 21.93 % in *Tamarindus indica*. It was observed that a higher content of minerals in the bark tends to decrease its calorific value. The common chemical elements in the samples analyzed were calcium, potassium, magnesium, phosphorus and sulfur. No heavy metals were detected in the samples of the bark.

KEYWORDS: Broad-leaved, combustion, ash content, chemicals, X-ray analysis

INTRODUCCIÓN

La madera y la corteza están formadas químicamente por polisacáridos y lignina, además de sustancias extraíbles y sustancias inorgánicas; las cantidades varían de acuerdo con la especie y lugar, entre otros factores (Fengel & Wegener, 1983). Con relación a las sustancias minerales, se han encontrado aproximadamente 60 elementos distintos en diferentes vegetales. Es probable que en éstos se puedan hallar todos los elementos químicos naturales existentes, pues las raíces pueden absorber, en cierta proporción, cualquier elemento del medio que se encuentre en forma soluble (Gil, 1995). Así, algunos estudios han reportado para diversas maderas, entre otros elementos, la presencia

INTRODUCTION

Wood and bark are formed chemically by polysaccharides and lignin and extractives and inorganic substances, amounts vary according to the species and location, among other factors (Fengel & Wegener, 1983). About 60 different elements in different plants have been found with respect to the mineral substances. It is likely that they can have all existing natural chemical elements, because roots can absorb, to some extent, any element of the environment that is in soluble (Gil, 1995). Thus, some studies have reported for different woods, among other things, the presence of rare earth (Rutiaga & Garcia, 1999; Villaseñor & Rutiaga, 2000, Young & Guinn, 1966).

de tierras raras (Rutiaga & García, 1999; Villaseñor & Rutiaga, 2000; Young & Guinn, 1966).

La proporción de corteza en el árbol varía según la especie dependiendo de su diámetro y de su altura. Aunque no se dispone de datos sobre la cantidad de corteza de los árboles estudiados, es conocido, por ejemplo, que *Pinus sylvestris* tiene valores de 5 a 18 % (Standke & Schneider, 1981). Otros reportes para diferentes especies de árboles indican que el volumen de corteza varía de 10 a 20 % (Grassia, 2009; Lassasenaho, Melkas, & Alden, 2005; Malone & Liang, 2009; Sonmez, Keles, & Tilki, 2007). Estos datos sugieren que la cantidad de corteza que genera un árbol, pudiera ser un residuo susceptible de aprovechamiento energético.

La madera ha sido utilizada para obtener energía por su combustión, pirólisis, gasificación y licuefacción (Fengel & Wegener, 1983). Actualmente, estos y otros materiales lignocelulósicos, como los residuos agrícolas, están tomando singular importancia en el desarrollo de energéticos más amigables con el medio ambiente. La finalidad es sustituir total o parcialmente el uso de combustibles fósiles a corto o mediano plazo, ya que éstos generan productos contaminantes como SO_x . En nuestro medio es frecuente el uso de residuos de la biomasa forestal con fines energéticos, y el de las especies de árboles frutales como leña (Niembro, 1990). En tal contexto, los objetivos de la presente investigación fueron determinar el poder calorífico y el contenido de cenizas en la corteza de seis especies de árboles frutales, y detectar la presencia de elementos químicos en dichas cenizas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material de estudio

Se recolectaron muestras de corteza de seis especies de árboles frutales (Cuadro 1) en un predio particular de Acámbaro, Guanajuato, México. La ubicación geográfica del municipio es 20° 2' latitud norte y 100° 43' longitud oeste, a una altitud de 1,860 m, con rango de precipitación de 700-900 mm y temperatura de 10 a 20 °C, con clima semicálido subhúmedo (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2011). Las muestras se dejaron secar al aire libre, después fueron molidas y la harina obtenida fue tamizada para obtener material de malla 40. La harina tamizada se almacenó en bolsas de plástico selladas, hasta ser utilizada. Previo al proceso de calcinación, se determinó el porcentaje de humedad de cada muestra por el método de deshidratación T 264 cm-97 (TAPPI, 2000a).

Determinación del poder calorífico

De cada muestra de corteza, se formaron seis pastillas de 1 g base seca en una prensa de laboratorio aplicando una presión de 1,000 kg·cm⁻². El poder calorífico

Tree bark proportion varies according to the specie depending on its diameter and height. Although no data on the amount of bark of the trees studied is available, it is known, for example that *Pinus sylvestris* has values from 5 to 18 % (Standke & Schneider, 1981). Other reports for different tree species indicate that the bark volume varies from 10 to 20 % (Grassia, 2009; Lassasenaho, Melkas, & Alden, 2005; Malone & Liang, 2009; Sonmez, Keles, & Tilki, 2007). These data suggests that the amount of bark generated by a tree may be a residue that is susceptible of energy use.

Wood has been used to obtain energy by combustion, pyrolysis, gasification and liquefaction (Fengel & Wegener, 1983). Currently, these and other lignocellulosic materials, such as agricultural waste, are taking singular importance in the development of energy more environmentally friendly. The aim is to fully or partially replace the use of fossil fuels in the short to medium term, because they generate pollutants such as SO_x . In our setting is common to use forest biomass residues for energy, and fruit tree species as firewood (Niembro, 1990). In this context, the objectives of this study were to determine the calorific value and ash content in the bark of six fruit tree species, and to detect the presence of chemicals in these ashes.

MATERIALS AND METHODS

Study Materials

Bark samples of six fruit tree species were collected (Table 1) in a particular property of Acámbaro, Guanajuato, Mexico. The geographical location of this place is 20° 2' north and 100° 43' west, at an altitude of 1,860 m, with precipitation range of 700-900 mm and temperature of 10-20 °C with semiwarm subhumid climate (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2011). Samples were left to dry in open air, then milled. The bark meal obtained was sieved to obtain material of mesh 40. The sifted bark meal was stored in sealed plastic bags until use. Prior to the calcination process, the moisture content of each sample was determined by the dehydration method T 264 cm-97 (TAPPI, 2000a).

Calorific value determination

Six pellets of 1 g dry basis were elaborated from each bark sample using a laboratory press with a pressure of 1,000 kg·cm⁻². The calorific value in the prepared samples was determined using the technique Parr 1341 ns T-78 (TAPPI, 2000b), using an oxygen bomb calorimeter (Parr, model 6772). Samples were conditioned at a rate of 8 % moisture.

Ash content determination

Wood samples were subjected to calcination in muffle at 525 °C to determine the ash content (inorgan-

CUADRO 1. Especies arbóreas estudiadas.

TABLE 1. Tree species assessed.

Nombre científico Scientific name	Abreviatura Abbreviation	Nombre común Common name	Familia Family
<i>Annona cherimola</i> Mill.	(Ach)	Chirimoyo / Cherimoya tree	Annonaceae
<i>Citrus aurantifolia</i> Swingle	(Cau)	Limón / Lemon tree	Rutaceae
<i>Malus domestica</i> Borkh.	(Mdo)	Manzano / Apple tree	Rosaceae
<i>Psidium guajava</i> L.	(Pgu)	Guayabo / Guava tree	Myrtaceae
<i>Prunus dulcis</i> (Mill.) D. A. Webb	(Pdu)	Almendro / Almond tree	Rosaceae
<i>Tamarindus indica</i> L.	(Tin)	Tamarindo / Tamarind tree	Fabaceae

en las muestras preparadas se determinó con la técnica T Parr 1341 ns-78 (TAPPI, 2000b), utilizando una bomba calorimétrica (Parr, modelo 6772). Las muestras fueron acondicionadas a un promedio de 8 % de humedad.

Determinación del contenido de cenizas

Las muestras de madera fueron sometidas a calcinación en mufla a 525 °C para determinar el contenido de cenizas (sustancias inorgánicas), de acuerdo con la norma T 211 om-93 (TAPPI, 2000c).

Análisis de las cenizas

El microanálisis cualitativo de las cenizas se realizó en un espectrómetro de rayos X acoplado a un microscopio electrónico de barrido (Jeol, modelo JSM-6400) bajo las siguientes condiciones de operación: 20 kV y 8.5 s.

Análisis estadístico

Todos los análisis se realizaron por sextuplicado, a excepción del microanálisis que se llevó a cabo por duplicado. Las diferencias estadísticas en las muestras con relación a su poder calorífico y al contenido de cenizas se determinó con un análisis de varianza a 95 % de confianza y se aplicó la prueba de rangos múltiples de la diferencia mínima significativa (DMS) (Gutiérrez & De la Vara, 2004). Los datos recabados fueron procesados en el programa Statgraphics Plus Versión 4.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Poder calorífico

Los resultados del poder calorífico en las muestras de corteza se muestran en el Cuadro 2. El análisis de varianza mostró que existe diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en los valores del poder calorífico de las cortezas estudiadas, tal como se aprecia en la Figura 1. Los resultados variaron de 3,453.49 kcal·kg⁻¹ para *T. indica* (Tin) a 4,076.21 kcal·kg⁻¹ para *P. guajava* (Pgu). Promediando los valores obtenidos se tiene como

ic substances) according to the standard T 211 om-93 (TAPPI, 2000c).

Ash analysis

Ash qualitative microanalysis was performed using an X-ray spectrometer coupled to a scanning electron microscope (Jeol, model JSM-6400) under the following operating conditions: 20 kV and 8.5 s.

Statistical analysis

All analyzes were performed in sextuplicate except for the microanalysis, which was carried out in duplicate. An analysis of variance at 95 % confidence level was conducted and the multiple range test of least significant difference (LSD) (Gutiérrez & De la Vara, 2004) was applied to determine the statistical differences in samples in relation to its calorific value and ash content. The data collected were processed using the program Statgraphics Plus Version 4.0.

RESULTS AND DISCUSSION

Calorific value

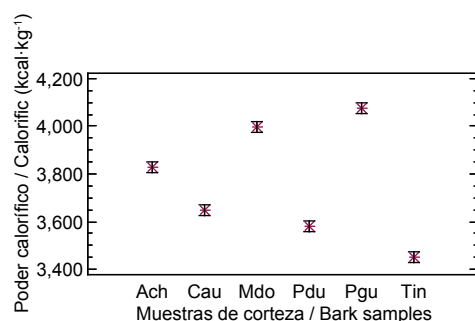
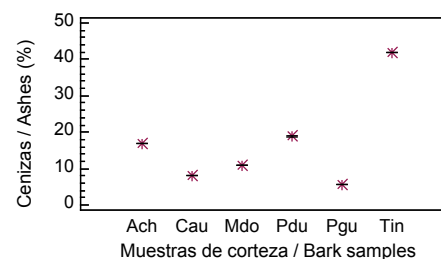
Calorific value results in bark samples are shown in Table 2. The analysis of variance showed statistically significant difference ($P \leq 0.05$) in the calorific values of the barks studied, as shown in Figure 1. The results ranged from 3,453.49 kcal·kg⁻¹ for *T. indica* (Tin) to 4,076.21 kcal·kg⁻¹ for *P. guajava* (Pgu). Averaging the values we obtain 3,764.56 kcal·kg⁻¹, a lower value compared to 4,484 kcal·kg⁻¹ (Kollmann, 1959) and 371 kcal·kg⁻¹ (Puri, Singh, & Bhushan, 1994), reported as averages for barks. This difference may be attributable to the moisture content of the samples when being analyzed, since it is known that the humidity of the material affects its calorific value. It can also be attributed to the presence of extractives in barks, because they tend to increase its value, especially in the case of resins (Kollmann, 1959). However, the average value of 3,764.56 kcal·kg⁻¹ is within the range (3,600 a 4,700 kcal·kg⁻¹) reported for wood (ASINEL, 1992).

CUADRO 2. Valores promedio del poder calorífico de las cortezas a una humedad de 8 %.

TABLE 2. Average calorific values of bark at a moisture of 8%.

Corteza / Bark	Poder calorífico / Calorific value (kcal·kg ⁻¹)	Cenizas / Ashes (%)
<i>Annona cherimola</i>	3,829.34 ± 42.67	17.01 ± 0.04
<i>Citrus aurantifolia</i>	3,647.65 ± 43.91	8.24 ± 0.04
<i>Malus domestica</i>	3,998.28 ± 42.61	10.96 ± 0.05
<i>Psidium guajava</i>	4,076.21 ± 36.03	5.76 ± 0.05
<i>Prunus dulcis</i>	3,582.42 ± 33.45	18.86 ± 0.05
<i>Tamarindus indica</i>	3,453.49 ± 40.95	21.93 ± 0.03

± Desviación estándar de la media.

FIGURA 1. Gráfico de medias del poder calorífico en las cortezas evaluadas. Existe diferencia significativa en todas las muestras, de acuerdo con la prueba DMS a una $P \leq 0.05$. Ach = *Annona cherimola*, Cau = *Citrus aurantifolia*, Mdo = *Malus domestica*, Pgu = *Psidium guajava*, Pdu = *Prunus dulcis*, Tin = *Tamarindus indica*.FIGURE 1. Mean-value chart of calorific value in barks evaluated. Significant difference is shown in all samples, according to the LSD test at $P \leq 0.05$. Ach = *Annona cherimola*, Cau = *Citrus aurantifolia*, Mdo = *Malus domestica*, Pgu = *Psidium guajava*, Pdu = *Prunus dulcis*, Tin = *Tamarindus indica*.FIGURA 2. Gráfico de medias de las cenizas en las cortezas evaluadas. Existe diferencia significativa en todas las muestras, de acuerdo con la prueba DMS a una $P \leq 0.05$. Ach = *Annona cherimola*, Cau = *Citrus aurantifolia*, Mdo = *Malus domestica*, Pgu = *Psidium guajava*, Pdu = *Prunus dulcis*, Tin = *Tamarindus indica*.FIGURE 2. Mean-value chart of ashes in barks evaluated. Significant difference is shown in all samples, according to the LSD test at $P \leq 0.05$. Ach = *Annona cherimola*, Cau = *Citrus aurantifolia*, Mdo = *Malus domestica*, Pgu = *Psidium guajava*, Pdu = *Prunus dulcis*, Tin = *Tamarindus indica*.

resultado 3,764.56 kcal·kg⁻¹, valor menor comparado con 4,484 kcal·kg⁻¹ (Kollmann, 1959) y 4,371 kcal·kg⁻¹ (Puri, Singh, & Bhushan, 1994), reportados como promedios para las cortezas. Esta diferencia puede ser atribuible al contenido de humedad de las muestras al ser analizadas, pues es conocido que la humedad del material afecta su poder calorífico. También puede ser atribuida a la presencia de sustancias extraíbles en las cortezas, pues ellas suelen incrementar su valor, sobre todo si se trata de resinas (Kollmann, 1959). Sin embargo, el valor promedio de 3,764.56 kcal·kg⁻¹ se encuentra dentro del rango (3,600 a 4,700 kcal·kg⁻¹) reportado para maderas (ASINEL, 1992).

Contenido de cenizas

En el Cuadro 2 se presentan los resultados del contenido de sustancias inorgánicas en las muestras de

Ash content

Table 2 shows the results of the content of inorganic substances in bark samples. The analysis of variance shows statistically significant difference ($P \leq 0.05$) in ash content. The values obtained ranged from 5.76 % in *P. guajava* (Pgu) to 21.93 % in *T. indica* (Tin). The wide range reflects the natural variability in this lignocellulosic material (Table 2, Figure 2). The result agrees with the fact that the amount of mineral substances varies significantly depending on the species, because there is a genetic code of the salt content. Also, the upper plants can show notable differences among groups finding values of 3-5 % and up to 20 % ash (Gil, 1995). This difference was observed in the results obtained, even in two species of the *Rosaceae* family, *M. domestica* with 10.96 % and *P. dulcis* with a value of 18.86 %. Only the ash values found for *M. domestica*, *C. aurantifolia* and

corteza. El análisis de varianza indica que existe diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en el contenido de cenizas. Los valores encontrados variaron de 5.76 % en *P. guajava* (Pgu) a 21.93 % en *T. indica* (Tin). El amplio rango refleja la variabilidad natural existente en este material lignocelulósico (Cuadro 2, Figura 2). El resultado coincide con el hecho de que la cantidad de sustancias minerales varía apreciablemente según las especies, pues existe un código genético del contenido salino. Además, en las plantas superiores pueden existir notables diferencias entre los grupos encontrándose valores de 3 a 5 % y hasta de 20 % de cenizas (Gil, 1995). Esta diferencia se observó en los resultados aquí obtenidos, incluso, en dos especies de la familia Rosaceae; *M. domestica* con 10.96 % y *P. dulcis* con un valor de 18.86 %. Solamente los valores de cenizas encontrados para *M. domestica*, *C. aurantifolia* y *P. guajava* son los que se ubican dentro del rango (5 a 10 %) reportado para cortezas (Kollmann, 1959); las otras tres especies contienen valores mayores. En general, todos los valores aquí obtenidos son superiores si se comparan con los reportados para diferentes especies de árboles no frutales (Fengel & Wegener, 1983; Harun & Labosky, 1985; Kollmann, 1959; Labosky, 1979; McGinnis & Parikh, 1975; Usta & Kara, 1997). Esto puede indicar que probablemente exista mayor concentración de sustancias minerales en la corteza de las especies frutales comparadas con las especies maderables.

En la Figura 3 aparecen la gráfica y el modelo matemático de ajuste ($R = -0.73$) obtenidos al correlacionar los datos de poder calorífico y del contenido de cenizas. En la gráfica se puede observar la tendencia de que el poder calorífico tiende a disminuir a mayor contenido

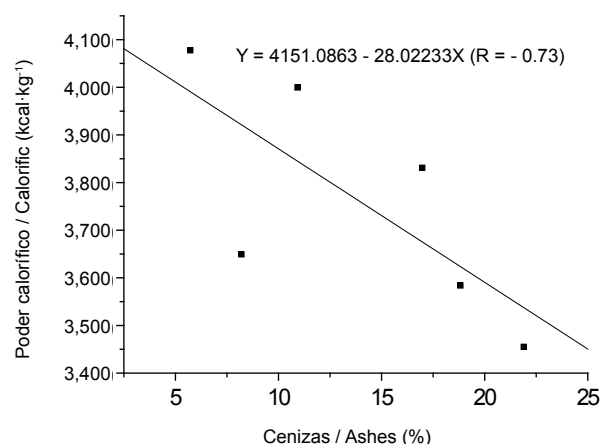


FIGURA 3. Relación entre el contenido de cenizas y el poder calorífico en las muestras de corteza analizadas.

FIGURE 3. Relationship between the content of ashes and the calorific value in bark samples evaluated.

P. guajava are those located within the range (5-10 %) reported for barks (Kollmann, 1959), the other three species contain higher values. In general, all values here obtained are higher in comparison to those reported for different fruit tree species (Fengel & Wegener, 1983; Harun & Labosky, 1985; Kollmann, 1959; Labosky, 1979; McGinnis & Parikh, 1975; Usta & Kara, 1997). This may indicate that there is probably higher concentration of mineral substances in barks of fruit tree species compared to wood species.

Figure 3 shows the graph and mathematical model ($R = -0.73$) obtained by correlating calorific value and ash content data. The graph shows that the calorific value tends to decrease at higher mineral content, as pointed out by the literature (Fengel & Wegener, 1983).

Ash analysis

Currently, we known four types of hormones involved in plant growth (auxins, gibberellins, cytokinins and inhibitors) and the hormonal properties ethylene (Lira, 2007). In addition to these organic substances are inorganic substances that play an important role as elements of nutrition for growing trees (Fengel & Wegener, 1983; Scheffer & Schachtschabel, 1998). Table 3 shows the elements detected in the assessed samples, which belong precisely to the chemical elements that are common in vascular plants (Gil, 1995). Five (magnesium, phosphorus, sulfur, potassium and calcium) of the seven elements that are known as macro-elements or macro-nutrients and that plants require for their full growth (Gil, 1995) were detected. With respect to the six-called micronutrients or micro-elements (manganese, zinc, boron, copper, molybdenum and chlorine) (Gil, 1995), only chlorine was detected. The other elements present (sodium, aluminum and silicon) in the samples studied are minerals that many plants also required for development, besides those already mentioned (Gil, 1995). The result of the ashes microanalysis broadly agrees with the data reported in the literature. For example, Choong, Abdullah, and Kowalczyk (1976) detected sodium, potassium, calcium, magnesium, zinc and phosphorus in different barks and wood of broadleaf species, also Fengel and Wegener (1983) point out that the common elements and those found in greater proportion, are calcium, potassium, magnesium and phosphorus. Most of the chemical elements detected in the samples were also identified in wood and barks of different species (Choong et al. 1976; Cutter McGinnes, & McKown, 1980; Young & Guinn, 1966).

The relative percentage concentration of the chemical elements present in the ash of the bark was varied (Table 3). Fluoride was identified in five of the six barks with values from 5.04 to 7.89 %. It is an abundant element in nature, found mainly as fluor spar, cryolite and fluorapatite (Cotton & Wilkinson, 1990). Fluoride is pres-

CUADRO 3. Elementos químicos (%) detectados en las muestras de corteza.**TABLE 3. Chemical elements (%) detected in bark samples.**

Elemento Element	Cortezas / Barks					
	<i>Annona cherimola</i>	<i>Citrus aurantifolia</i>	<i>Malus domestica</i>	<i>Psidium guajava</i>	<i>Prunus dulcis</i>	<i>Tamarindus indica</i>
Flúor / fluor	nd	7.89 ± 2.7	5.19 ± 3.5	6.74 ± 2.9	5.04 ± 3.6	6.88 ± 2.7
Sodio / sodium	nd	0.42 ± 3.0	0.54 ± 2.4	nd	2.19 ± 7.1	0.80 ± 1.6
Magnesio / Magnesium	3.39 ± 5.0	9.01 ± 1.4	3.19 ± 5.3	9.29 ± 1.8	6.53 ± 2.4	8.64 ± 1.8
Aluminio / Aluminium	nd	0.03 ± 4.2	0.16 ± 7.1	nd	nd	nd
Silicio / Silicon	0.04 ± 3.9	0.56 ± 2.3	1.20 ± 1.1	0.58 ± 2.1	nd	nd
Fósforo / Phosphorus	1.02 ± 1.8	4.09 ± 3.8	1.23 ± 10.3	4.39 ± 4.2	1.36 ± 9.4	3.56 ± 3.6
Azufre / Sulfur	1.74 ± 8.9	0.63 ± 1.6	0.63 ± 17.9	0.81 ± 1.6	1.09 ± 1.2	0.73 ± 1.5
Cloro / Chlorine	0.09 ± 0.8	1.02 ± 1.1	nd	1.27 ± 10.0	2.45 ± 6.9	nd
Potasio / Potassium	26.83 ± 0.5	25.75 ± 0.6	11.04 ± 1.4	27.80 ± 0.5	17.92 ± 0.9	8.51 ± 1.5
Calcio / Calcium	66.89 ± 0.3	50.63 ± 0.3	76.82 ± 0.2	49.12 ± 0.3	63.42 ± 0.2	70.88 ± 0.2

nd = no detectado. no determined ± Desviación estándar de la media. Mean standard deviation.

de sustancias minerales, tal como lo señala la literatura (Fengel & Wegener, 1983).

Análisis de las cenizas

Actualmente se conocen cuatro tipos de hormonas que intervienen en el crecimiento de las plantas (auxinas, giberelinas, citocininas e inhibidores) y también se han reconocido las propiedades hormonales del etileno (Lira, 2007). Además de estas sustancias orgánicas, existen sustancias inorgánicas que juegan un rol importante como elementos de nutrición para el crecimiento de los árboles (Fengel & Wegener, 1983; Scheffer & Schachtschabel, 1998). En el Cuadro 3 se presentan los elementos detectados en las muestras estudiadas, los cuales pertenecen precisamente a los elementos químicos que son comunes en las plantas vasculares (Gil, 1995). Se detectaron cinco elementos (magnesio, fósforo, azufre, potasio y calcio) de los siete que son conocidos como macroelementos o macronutrientes y que los vegetales requieren para su completo crecimiento (Gil, 1995). Con relación a los seis elementos llamados micronutrientes o microelementos (manganeso, zinc, boro, cobre, cloro y molibdeno) (Gil, 1995), sólo se detectó cloro. Los otros elementos presentes (sodio, aluminio y silicio) en las muestras estudiadas son minerales que muchas plantas suelen también requerir para su desarrollo, además de los ya señalados (Gil, 1995). El resultado del microanálisis de las cenizas concuerda en general con los datos reportados en la literatura. Por ejemplo, Choong, Abdullah, y Kowalczyk (1976) detectaron sodio, potasio, calcio, magnesio, zinc y fósforo en diferentes cortezas y maderas de especies de latifolias;

ent in plants in low concentrations (Restrepo & Pinheiro, 2009), is easily assimilated by them in soluble form and there is no evidence of toxicity if it is absorbed only through the roots. However, if fluoride travels by air it is toxic to plants (Kabata-Pendias, 1986), also reduces photosynthesis in forest trees (Thimann, Critchfield, & Zimmermann, 1958) and it is considered a foreign element to plant metabolism (Seoáñez, 2002).

Sodium was detected in four of the six barks. It is an element found in soil as monovalent cation and it stimulates the growth of certain plants (Gil, 1995).

Magnesium is found in free form, adsorbed into micelles. The common form is found in minerals such as the magnesite (MgCO_3), olivine ($\text{MgFe}_2\text{SiO}_4$) and dolomite ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$), which can provide sufficient quantities of the element for plant growth. The most important function of magnesium is related to photosynthesis and carbohydrate metabolism (Gil, 1995). This element was found in all studied barks with values from 3.19 to 9.29 %.

Aluminum was detected in only two barks. It is an abundant element in the earth's crust, although in soil solution is found in very low concentrations in soluble form. This element can be beneficial for plant growth (Gil, 1995).

Silicon is the second most abundant element in the earth's crust that is found on the silicates, it is adsorbed and it is also found in soil solution, usually in the form of monosilicic acid. It is an element that gives rigidity to the leaves, thereby enhancing photosynthesis (Gil, 1995). Silicon was found in four barks at concentrations from 0.04 to 1.20 %.

In all samples studied, phosphorus was detected with values from 1.02 to 4.39 %. Most of the phospho-

además, Fengel y Wegener (1983) señalan que los elementos comunes y que se encuentran en mayor proporción, son el calcio, potasio, magnesio y fósforo. La mayoría de los elementos químicos detectados en las muestras estudiadas han sido también identificados en maderas y cortezas de diferentes especies (Choong et al., 1976; Cutter, McGinnes, & McKown, 1980; Young & Guinn, 1966).

La concentración porcentual relativa de los elementos químicos presentes en las cenizas de las cortezas fue variada (Cuadro 3). El flúor fue identificado en cinco de las seis cortezas con valores de 5.04 a 7.89 %. Es un elemento abundante en la naturaleza, encontrado principalmente como fluorita, criolita y fluoroapatita (Cotton & Wilkinson, 1990). El flúor está presente en las plantas en concentraciones bajas (Restrepo & Pinheiro, 2009), es fácilmente asimilable por ellas en forma soluble y no existen pruebas de su toxicidad si es absorbido sólo por las raíces. En cambio, si el flúor es transportado por el aire es tóxico para las plantas (Kabata-Pendias, 1986), reduce la fotosíntesis también en árboles forestales (Thimann, Critchfield, & Zimmermann, 1958) y es considerado un elemento extraño al metabolismo de los vegetales (Seoáñez, 2002).

El sodio se detectó en cuatro de las seis cortezas. Se trata de un elemento que se encuentra en el suelo como catión monovalente y estimula el crecimiento de algunas plantas (Gil, 1995).

El magnesio se encuentra en forma libre, adsorbido a las micelas. La forma fija se halla en minerales como la magnesita (MgCO_3), el olivino ($\text{MgFe}_2\text{SiO}_4$) y la dolomita ($\text{MgCO}_3 \cdot \text{CaCO}_3$) que pueden suministrar cantidades suficientes del elemento a las plantas para su crecimiento. La función más importante del magnesio está en relación con la fotosíntesis y el metabolismo glucídico (Gil, 1995). Este elemento fue encontrado en todas las cortezas estudiadas con valores de 3.19 a 9.29 %.

El aluminio sólo fue detectado en dos cortezas. Se trata de un elemento abundante en la corteza terrestre, aunque en la solución del suelo se encuentra en muy bajas concentraciones en forma soluble. Este elemento puede ser benéfico para el crecimiento de las plantas (Gil, 1995).

El silicio es el segundo elemento en abundancia en la corteza terrestre que se encuentra fijo en los silicatos, es adsorbido y se encuentra también en la solución del suelo, por lo general, en forma de ácido monosilícico. Es un elemento que da rigidez a las hojas, mejorando así la fotosíntesis (Gil, 1995). El silicio fue encontrado en cuatro cortezas en concentraciones de 0.04 a 1.20 %.

En todas las muestras estudiadas, el fósforo fue detectado con valores de 1.02 a 4.39 %. La mayor parte del fósforo se halla en la fracción inorgánica del suelo, principalmente en forma de iones fosfato (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-}

rus is found in the inorganic fraction of soil, mainly in the form of phosphate ions (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} and $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$) and orthophosphoric acid (H_3PO_4). Besides its metabolic functions, phosphorus assumes regulatory functions controlling various enzymes, for example, in photosynthesis and glycolysis (Gil, 1995).

Sulfur is found in decaying organic matter and humus, but most sulfur is found in a fertile soil in the form of insoluble minerals such as pyrite (FeS), sphalerite (ZnS), chalcopyrite (CuFeS_2) and gypsum (CaSO_4) which readily oxidized to sulfate. Sulfur is found in plants as plastic element in proteins, such as cysteine, cystine and methionine, as group -SH or bridge-S-S-; substituents found in the active centers of many enzymes (Gil, 1995). Sulfur was detected in all bark samples with values from 0.63 to 1.74 %.

Chlorine is found in soil solution as monovalent anion. Their functions are unclear but it is essential *in vitro* for photosynthetic oxygen evolution, indicating that it relates to the electron transport in water oxidation. Another known function is to increase the activity of asparagine synthetase, which converts glutamine into asparagine and glutamic acid (Gil, 1995). This element was found in four barks, whose concentration ranged from 0.09 to 2.45 %.

Potassium was found in all the studied barks with values from 8.51 to 27.8 %. This element is found in soil as a cation, but it can also be associated with humus. Most of potassium, together with calcium and magnesium form part of silicates in minerals such as feldspar, biotite, muscovite, illite, montmorillonite and anorthite. These are combined forms that are not directly accessible for plants, but from these forms, the following elements are released: soluble ions in soil solution. Potassium form associations with proteins and helps activate enzymes (Gil, 1995).

Calcium is the major exchangeable cation of fertile soils, is associated with soil organic matter. This element is important in the formation and maintenance of cell membranes and lipid structures for their ability to create reversible links. It also exhibits functions as enzymatic activator in amylases, phospholipases, argininaquinasa, adenosinetriphosphatase, adeniltoquinasa and may also activate other enzymes that require magnesium as some ATPases (Gil, 1995). Calcium was present in all barks with values from 49.12 to 76.82 %.

In all bark samples studied, calcium and potassium where the elements with greater concentration, this is consistent with the literature (Choong et al. 1976; Fengel & Wegener, 1983). It was also observed that, in general, the phosphorus concentration was greater than that of sulfur in all samples tested as outlined in the literature (Gil, 1995).

It is important to mention that no heavy metals such as lead, zinc, nickel, copper and chromium were found in the samples analyzed; these metals were found in

y $\text{H}_2\text{PO}_4^{1-}$) y ácido ortofosfórico (H_3PO_4). Además de sus funciones metabólicas, el fósforo asume funciones reguladoras controlando diversas enzimas, por ejemplo, en la fotosíntesis y la glucólisis (Gil, 1995).

El azufre se encuentra en la materia orgánica en descomposición y en el humus; sin embargo, la mayor parte se encuentra en un suelo fértil, en forma de minerales insolubles como la pirita (FeS), la esfalerita (ZnS), la calcopirita (CuFeS_2) y el yeso (CaSO_4) que fácilmente se oxidan a sulfatos. El azufre se encuentra en las plantas como elemento plástico en las proteínas, como cisteína, cistina y metionina, como grupo $-\text{SH}$ o puente $-\text{S}-\text{S}-$; sustituyentes que se encuentran en los centros activos de muchas enzimas (Gil, 1995). El azufre fue detectado en todas las muestras de corteza con valores de 0.63 a 1.74 %.

El cloro se encuentra en la solución del suelo como anión monovalente. Sus funciones son inciertas pero es esencial *in vitro* para el desprendimiento fotosintético del oxígeno, lo que indica que está relacionado con el transporte electrónico en la oxidación del agua. Otra función conocida es la de aumentar la actividad de la asparaginasintetasa que transforma la glutamina en asparagina y ácido glutamínico (Gil, 1995). Este elemento fue encontrado en cuatro cortezas, cuya concentración varió de 0.09 a 2.45 %.

El potasio se detectó en todas las cortezas estudiadas con valores de 8.51 a 27.8 %. Este elemento se halla en el suelo en forma de catión, aunque se puede encontrar también asociado con el humus. La mayor parte del potasio, junto con el calcio y el magnesio, se encuentra formando parte de silicatos en minerales como los feldespatos, la biotita, la moscovita, la illita, la montmorillonita y la anortita. Éstas son formas combinadas que no son directamente accesibles por las plantas, pero de donde se liberan dichos elementos, como iones solubles, en la disolución del suelo. El potasio forma asociaciones con las proteínas y ayuda a activar enzimas (Gil, 1995).

El calcio es el catión intercambiable mayoritario de los suelos fértiles, se halla asociado a la materia orgánica del suelo. Este elemento es importante en la formación y mantenimiento de las membranas celulares y de las estructuras lipídicas por su facilidad para establecer enlaces reversibles. También exhibe funciones como activador enzimático en las amilasas, fosfolipasas, argininaquinasa, adenosintrifosfatasa, adeniltoquinasa, pudiendo asimismo activar otras enzimas que requieren magnesio, como algunas ATPasas (Gil, 1995). El calcio estuvo presente en todas las cortezas con valores de 49.12 a 76.82 %.

En todas las muestras de cortezas estudiadas, los elementos mayoritarios en concentración fueron el calcio y el potasio, lo que coincide con la literatura (Choong,

pine barks and have been related to air pollution (Kord & Kord, 2011). This indicates that on the site where the assessed trees were collected, there is no such pollution. The heavy metals detected do not seem to cause beneficial effects on plants, instead they are toxic and its presence is related to pollution levels (Marschner, 1986).

CONCLUSIONS

Statistically significant difference ($P \leq 0.05$) in the calorific value of the barks studied, with values from 3,453.49 kcal·kg⁻¹ in *T. indica* to 4,076.10 kcal·kg⁻¹ in *P. guajava*. The same behavior occurs in ash content, with values from 5.76 % (*P. guajava*) to 41.93 % (*T. indica*). In the samples tested it was observed that the calorific value tends to decrease at higher mineral content. The chemical elements detected in bark samples are common in plants and they are required for development: calcium, potassium, magnesium, phosphorus and sulfur. Calcium and potassium had the highest concentration. No heavy metals were detected in the samples studied.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors thank to the Coordination of Scientific Research of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo for the support granted to the project CIC-21.3-JGRQ, in which this study was conducted.

End of English Version

et al., 1976; Fengel & Wegener, 1983). También se observó que, en general, la concentración de fósforo fue mayor a la del azufre en todas las muestras analizadas como se señala en la literatura (Gil, 1995).

Es importante señalar que en las muestras analizadas no se detectaron metales pesados como plomo, zinc, níquel, cobre y cromo, que fueron encontrados en cortezas de pino y han sido referentes de contaminación del aire (Kord & Kord, 2011). Lo anterior indica que en el lugar de colecta de los árboles estudiados no existe este tipo de contaminación. Los metales pesados que se logran detectar no parecen ocasionar efectos benéficos sobre los vegetales, más bien pueden resultar tóxicos y su presencia está relacionada con niveles de contaminación (Marschner, 1986).

CONCLUSIONES

Existe diferencia estadísticamente significativa ($P \leq 0.05$) en el poder calorífico de las cortezas estudiadas, con valores de $3,453.49 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ (*T. indica*) a $4,076.21 \text{ kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$ (*P. guajava*). El mismo comportamiento se presenta en el contenido de cenizas con valores de 5.76% (*P. guajava*) a 41.93% (*T. indica*). En las muestras analizadas se observó que el poder calorífico tiende a disminuir a mayor contenido de sustancias minerales. Los elementos químicos detectados en las muestras de corteza son comunes en los vegetales y son los que requieren para su desarrollo: calcio, potasio, magnesio, fósforo y azufre, siendo el calcio y el potasio los de mayor concentración. No se detectaron metales pesados en las muestras estudiadas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el apoyo al proyecto CIC-21.3-JGRQ de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, dentro del cual se realizó el presente trabajo.

REFERENCIAS

- ASINEL. (1992). La biomasa y sus aplicaciones energéticas. In F. M. Martín, & M. C. Michelena (Eds.), *Energías renovables "Los Biocombustibles"*. Madrid: Ediciones Mundi-Prensa.
- Choong, E. T., Abdullah, G., & Kowalczyk, J. (1976). *LSU Wood utilization*. Notes No. 29. USA: Louisiana State University.
- Cotton, F. A., & Wilkinson, G. (1990). *Química inorgánica avanzada*. México: Limusa.
- Cutter, B. E., McGinnes, E. A., & McKown, D. H. (1980). Inorganic concentrations in selected woods and charcoals measured using NAA. *Wood and Fiber*, 12, 72–79. Obtenido de <http://swst.metapress.com/content/5102624300075602/>
- Fengel, D., & Wegener, G. (1983). *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. Berlin, Alemania: Walter de Gruyter & Co.
- Gil, M. F. (1995). *Elementos de fisiología vegetal*. Madrid, España: Ediciones Mundi-Prensa.
- Grassia, A. (2009). Estimating bark thickness in natural stands of *Eucalyptus*. *Austral Ecology*, 5(4), 411–417. doi: 10.1111/j.1442-9993.1980.tb01265.x
- Gutiérrez, P. H. G., & De la Vara, S. R. (2004). *Análisis y diseño de experimentos*. México: McGraw-Hill Interamericana.
- Harun, J., & Labosky, P. J. (1985). Chemical constituents of five northeastern barks. *Wood and Fiber Science*, 17(2), 274–280. Obtenido de <http://swst.metapress.com/content/vg7r3624j7g6361v/>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (2011). *México en cifras. Acámbaro, Guanajuato*. Consultado 4-01-2011 en <http://www.inegi.org.mx/movil/MexicoCifras/mexicoCifras.aspx?em=11002&i=e>
- Kabata-Pendias, A. (1983). La agresión química a la biosfera. *Unasylva*, 141. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/q2570S/q2570s00.htm#Contents>
- Kollmann, F. (1959). *Tecnología de la madera y sus aplicaciones* (Vol. 1). Madrid, España: Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera.
- Kord, B., & Kord, B. (2011). Heavy metal levels in pine (*Pinus eldarica* Medw.) tree barks as indicators of atmospheric pollution. *Bio-Resources*, 6(2), 927–935. Obtenido de http://www.ncsu.edu/bioresources/BioRes_06/BioRes_06_2_0927_Kord_K_Heavy_Metal_Pine_Barks_Indicat_Air_Pollution_1363.pdf
- Labosky, P. J. (1979). Chemical constituents of four southern pine barks. *Wood Science*, 12(2), 80–85.
- Lassasenhao, J., Melkas, T., & Alden, S. (2005). Modelling bark thickness of *Picea abies* with taper curves. *Forest Ecology and Management*, 206(1-3), 35–47. doi: 10.1016/j.foreco.2004.10.058
- Lira, S. R. H. (2007). *Fisiología vegetal*. México: Trillas.
- Malone, T., & Liang, J. (2009). A bark thickness model for white spruce in Alaska Northern Forest. *International Journal of Forestry Research*, 2009 (Article ID 876965). doi: 10.1155/2009/876965
- Marschner, H. (1986). *Mineral nutrition of higher plants*. USA: Academic Press.
- McGinnis, G. D., & Parikh, S. (1975). The chemical constituents of loblolly pine bark. *Wood Science*, 7(4), 295–297.
- Niembro, R. A. (1990). *Árboles y arbustos útiles de México*. México: Limusa.
- Puri, S., Singh, S., & Bhushan, B. (1994). Evaluation of fuelwood quality of indigenous and exotic tree species of India's semiarid region. *Agroforestry Systems*, 26(2), 123–130. doi: 10.1007/bf00707010
- Restrepo R. J., & Pinheiro, S. (2009). *Agricultura orgánica*. Santiago de Cali, Colombia: Feriva, S. A.
- Rutiaga, Q. J. G., & García D. J. (1999). Elementos químicos en las cenizas del duramen de dos maderas tropicales. *Ciencia Forestal en México*, 24(86), 7.
- Scheffer, F., & Schachtschabel, P. (1998). *Lehrbuch der Bodenkunde* (14 Auflage ed.). Stuttgart, Alemania: Ferdinand Enke.
- Seoáñez, C. M. (2002). *Tratado de la contaminación atmosférica*. Madrid, España: Ediciones Multi-Prensa.
- Sonmez, T., Keles, S., & Tilki, F. (2007). Effect of aspect tree age and tree diameter on bark thickness of *Picea orientalis*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 22(3), 193–197. doi: 10.1080/02827580701314716
- Standke, W., & Schneider, A. (1981). Untersuchungen über das Sorptionsverhalten des Bast- und Borkenanteils verschiedener Baumrinden. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 39, 489–493.
- TAPPI. (2000a). *Tappi test methods T 264 cm-97. Preparation of wood for chemical analysis*. Atlanta, USA: Autor.
- TAPPI. (2000b). *Tappi test methods T parr-1341 ns 78. Determinación de calores de combustión de licores negros de procesos químicos de ob-*

- tención de pulpa celulósica y otras sustancias. Atlanta, USA: Autor.
- TAPPI. (2000c). *Tappi test methods T 211 om-93. Ash in wood and pulp*. Atlanta, USA: Autor.
- Thimann, K. V., Critchfield, W. B., & Zimmermann, M. H. (1958). *The physiology of forest trees*. New York, USA: The Roland Press Company.
- Usta, M., & Kara, Z. (1997). The chemical composition of wood and bark of *Cedrus libani* A. Rich. *European Journal of Wood and Wood Products*, 55(2), 268–268. doi: 10.1007/bf02990561
- Villaseñor, A. J. C., & Rutiaga, Q. J. G. (2000). La madera de *Casuarina equisetifolia* L., química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques*, 6(1), 29–40. Obtenido de <http://redalyc.uaemex.mx/pdf/617/61760103.pdf>
- Young, H. E., & Guinn, V. P. (1966). Chemical elements in complete mature trees of seven species en Maine. *Tappi*, 49(5), 190–197.