

Calidad de carbón obtenido con madera de especies tropicales comunes en el sureste de México

Charcoal quality obtained from wood of common tropical species in southeastern Mexico

Julio C. Ríos-Saucedo^{1*}, Rigoberto Rosales-Serna², Artemio Carrillo-Parra³, Antonio Cano-Pineda³, Martín Aquino-Ramírez⁴, Adrián Hernández-Ramos³ y Angela Loya-Chávez⁵

¹INIFAP – Campo Experimental Valle del Guadiana. Carretera Durango – El Mezquital km 4.5. Durango, Dgo., México. C. P. 34170.

²Universidad Juárez del Estado de Durango (UJED), Boulevard del Guadiana Núm. 501, Colonia Torre de Institutos, Durango, Dgo., México. C. P. 34120

³Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Saltillo. Carretera Saltillo-Zacatecas km 342+119 No. 9515,

⁴INIFAP-Campo Experimental Edzná. Carretera, Campeche-Pocuyaxum km 15.15, Campeche, Camp. C.P. 24520.

⁵Campo Experimental La Laguna, Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Matamoros, Coahuila, México.

*Autor para correspondencia: rios.julio@inifap.gob.mx

RESUMEN

Existen múltiples especies vegetales que son ecológicamente exitosas y pueden ser utilizadas en la generación de bioenergía. El objetivo fue evaluar la calidad de carbón obtenido con madera de especies tropicales endémicas del sureste de México. Se incluyeron diez especies: boox siliil, sak loob, ka'askat, ya'axnik, p'e'es' kuuch, k'anasin, ya'ax eek', ts'iits'ilche, xuul y k'an chuunup. Se evaluó la densidad básica de la madera y calidad del carbón obtenido en tres temperaturas: 500 °C, 700 °C y combinación 500 y 700 °C. La densidad básica de la madera fue más alta en la especie k'an chuunup (8.0 kg/m³), lo que se relacionó con sus propiedades naturales de madera dura. El contenido de humedad mostró variación considerable y únicamente tres especies cumplieron con las normas internacionales (< 8.0%), con niveles generales observados entre 3.8% (k'an chuunup) y 27.5% (ya'axnik). Los compuestos volátiles fueron más altos en la especie ts'iits'ilche' (30.4%) y el uso de ciclos de temperatura (500 °C y 700 °C) incrementó el número de especies que cumplieron con normas internacionales de calidad (9 a 16%). El contenido de ceniza fue más bajo en ya'ax eek' (2.7%), lo que favoreció su uso como combustible sólido, lo mismo que ya'axnik (3.7%) y el 50% de las especies evaluadas. El contenido de carbón fijo fue más alto en xuul (86.2%) y junto con otras especies cumplieron con los requerimientos mínimos (75 a 78%). La especie xuul mostró valores aceptables para todas las características que propician la calidad del carbón.

Palabras clave: Agroforestería, árboles tropicales, modelos alométricos, Oaxaca.

ABSTRACT

In the southeast of México, there are multiple plant species that are ecologically successful and could be used in the generation of bioenergy. The objective was to evaluate the quality of charcoal obtained with wood from endemic tropical species of southeastern México. Ten plant species were included: boox siliil, sak loob, ka'askat, ya'axnik, p'e'es' kuuch, k'anasin, ya'ax eek', ts'iits'ilche, xuul and k'an chuunup. The basic density of the wood and the quality of the charcoal obtained at three temperatures were evaluated: 500 °C, 700 °C and a combined cycle of 500 and 700 °C. The basic density of the wood was higher in the k'an chuunup species (8.0 kg/m³), which was related to its natural hardwood properties. Moisture content showed considerable variation and only three species reached international standards (< 8.0%), with general observed levels among 3.8% (k'an chuunup) and 27.5% (ya'axnik). Volatile compounds were higher in the ts'iits'ilche' species (30.4%) and the use of temperature cycles (500 °C and 700 °C) increased the number of species reaching international quality standards (9 to 16%). The ash content was lower in ya'ax eek' (2.7%), which favored its use as solid fuel, the same as ya'axnik (3.7%) and 50% of all



the other evaluated species. The fixed carbon content was higher in xuul (86.2%) and other species reaching the minimum requirements for this trait (75 to 78%). The xuul species showed acceptable values for all the traits favoring the quality of the coal.

Keywords: Wood energy, Basic density, Coal quality.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad se da preferencia a los biocombustibles para la generación de energía, con la finalidad de reducir la emisión de gases de efecto invernadero y el calentamiento global. Los combustibles que provienen de la biomasa vegetal, son: leña, carbón vegetal, pélets, briquetas, gas, etanol y pélets torrefactados. La producción de carbón vegetal y uso de la leña, se encuentran en el tercer lugar en la producción forestal maderable de México (CCMSS, 2021). El carbón vegetal es un producto forestal renovable que ha diversificado sus fuentes de aprovisionamiento de materias primas (de la Cruz *et al.*, 2020), aunque se requieren estudios adicionales para identificar nuevas especies subutilizadas, que tienen valores altos de productividad de biomasa y pueden ser usadas para la elaboración de este biocombustible.

La producción del carbón vegetal es un proceso termo-químico, denominado pirólisis, que consiste en la combustión de la biomasa disponible en condiciones restringidas de oxígeno, lo cual impide que el proceso sea completo. La calidad del carbón es superior a la leña; presenta reactividad alta, resistencia mecánica baja, poder calorífico alto y contenido bajo de ceniza (Romahn de la vega, 1992). El carbón vegetal es un material con porcentaje bajo de humedad y nivel bajo de higroscopicidad. Se ha establecido que la densidad básica influye sobre las propiedades industriales de la madera usada para fines variados. Por ello, el estudio de la densidad básica es importante en especies que tienen posibilidades para su uso en la producción de carbón vegetal.

México es un país megadiverso, donde existen múltiples especies vegetales, arbustivas y arbóreas, que han sido sub-utilizadas. Lo anterior, se debe al desconocimiento de su utilidad para la producción de biocombustibles, como el carbón. Muchas de esas especies muestran densidad baja de la madera, por lo que su poder calorífico es bajo y el contenido de cenizas es alto, lo que reduce su utilidad como combustible. La densidad básica expresa la cantidad

de sustancia leñosa seca en un volumen dado de madera, cuando se tiene un contenido de humedad igual o mayor al punto de saturación de las fibras (psf) y es utilizada en la predicción de la resistencia del material vegetal (Cisternas, 1994). El objetivo fue evaluar diez especies tropicales del sureste de México para determinar su utilidad en la producción de carbón.

MATERIALES Y METODOS

Se utilizaron diez especies, arbustivas y arbóreas, endémicas del sureste de México (Tabla 1), donde son utilizadas con fines variados, pero se desconocen sus propiedades para la generación de bioenergía, con excepción del uso como leña. Por ello, se decidió determinar las posibilidades para su uso en la producción de carbón y otros biocombustibles. Se utilizó una sierra eléctrica para cortar dos rodajas de cada una de las ramas de un árbol por especie. Se marcó cada una de las rodajas con el nombre de la especie, número de rama y número de rodaja. Las rodajas se colocaron en una malla plástica, para colocarlas en un recipiente con agua, para medir el volumen de las rodajas con la saturación de las fibras.

Tabla 1. Especies vegetales incluidas en el estudio de propiedades para la elaboración de carbón.

Especies	Nombre Científico	Condición y Usos
Boox siliil	<i>Diospyros yatesiana</i>	Árbol-arbusto, fruto comestible, madera, leña
Sak loob	<i>Eugenia mayana</i>	Árbol-arbusto, leña, madera
Ka' askat	<i>Luehea speciosa</i>	Árbol, madera, forraje, miel
Ya' axnik	<i>Vitex gaumeri</i>	Árbol subfrutice, leña, madera y miel
P'e' es' kuuch	<i>Croton reflexifolius</i>	Árbol-arbusto, leña y madera
K' anasin	<i>Lonchocarpus rugosus</i>	Árbol-arbusto, madera, miel
Ya' ax eek'	<i>Chloroleucon mangense</i>	Árbol-arbusto, madera, forraje, miel
Ts'iits'ilche'	<i>Gymnopodium floribundum</i>	Árbol-arbusto, melífera y combustible
Xuul	<i>Lonchocarpus guatemalensis</i>	Árbol-arbusto, leña y madera
K'an chuunup	<i>Thouinia paucidentata</i>	Árbol, leña y madera

CICY, 2010; CONABIO, 2023.



Después de un mes se sacaron las rodajas para determinar su volumen individual, por el método de desplazamiento de agua. Para conocer el peso del agua desplazada se utilizó una balanza electrónica (precisión 0.01 g). Después de evaluar el volumen, las muestras se colocaron en el horno a una temperatura de 80 °C para su secado hasta obtener peso constante. El peso seco (anhidro) se obtuvo en la balanza electrónica, inmediatamente después de extraer las muestras del horno.

La carbonización se realizó con el uso de cubos de madera, con 2 cm de lado, mismos que luego del proceso se utilizaron para obtener análisis inmediatos y poder calorífico. Los cubos de madera carbonizada se clasificaron con base en el número de especie, rama y probeta. Se utilizaron cuatro probetas de cada especie para realizar el proceso de carbonización, con tres tratamientos de temperatura 500 °C, 700 °C y 500 °C + espera de media hora y luego 700 °C. Para ello, se utilizaron reactores pequeños, los cuales fueron introducidos en la mufla. Luego del proceso se obtuvo el peso en una balanza y volumen de cada una de las probetas, colocándolas en un recipiente con mercurio. Después, se molieron cada una de las probetas y se tamizaron en malla 60 (0.250 mm) y 100 (0.149 mm), para su uso en los análisis inmediatos.

Calidad de carbón

La calidad se estableció mediante el análisis inmediato, que incluye la determinación del porcentaje de humedad, volátiles, cenizas, y carbón fijo. El contenido de humedad se determinó con base en el método gravimétrico, al colocar una muestra de 1.5 g de carbón molido y tamizado en la estufa de secado a una temperatura de 105 °C durante 2 h, reposar la muestra en el desecador durante 20 minutos y luego obtener el peso seco.

Los compuestos volátiles se determinaron al colocar la muestra seca de carbón de cada especie, en crisoles con tapa, los cuales se introdujeron en la mufla a una temperatura de 950 °C durante 11 min. Este proceso consistió en colocar los crisoles dos minutos en la tapa, tres minutos en la entrada y seis minutos dentro de la mufla para evitar que los volátiles se desprendieran rápidamente. El porcentaje del material volátil se estimó por diferencia de peso entre la masa del carbón anhidro y la masa de la

muestra después de exponerla a la temperatura de 950 °C.

Para determinar el contenido de cenizas, se colocaron los crisoles con la muestra libre de material volátil en la mufla a 750 °C durante 6 h. Luego se sacaron de la mufla y se introdujeron en el desecador hasta que se enfriaron, para así obtener el peso y determinar la proporción de ceniza. Los datos se evaluaron mediante estadística descriptiva, con los valores promedio para las variables evaluadas en cada especie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La densidad básica de la madera fue más alta en la especie k'an chuunup (8.0 kg/m³), mientras que la más baja se registró en ya' axnik (4.9 kg/m³) (Tabla 2). Lo anterior, se relacionó con las propiedades naturales de la primera especie, la cual es una planta arbórea, también conocida como madera dura (CICY, 2010). El contenido de humedad mostró variación considerable (Tabla 2), con niveles entre 3.8% (k'an chuunup) y 27.5% (ya'axnik). Lo anterior, debido al tipo de crecimiento que presenta ésta última especie que es un árbol subfrutice, lo que significa que el estrato superior es herbáceo, por lo que el proceso fue ineficiente en reducir el contenido hídrico en los tejidos de la planta. Únicamente tres especies cumplieron con las normas internacionales de carbón, que requieren valores inferiores a 8.0% de humedad (DIN 51749, 1989; EN 1860-2, 2005).

Tabla 2. Propiedades relacionadas con la calidad de carbón (500 y 700 °C) obtenido con madera de especies vegetales del sureste de México.

Especie	DB (kg/m ³)	Humedad (%)	Volátiles (%)	Cenizas (%)	Carbón Fijo (%)
Boox sililil	5.9	10.2	8.2	7.4	74.2
Sak loob	6.5	14.0	8.9	4.0	79.9
Ka'askat	6.1	8.3	4.9	8.0	78.8
Ya'axnik	4.9	27.5	7.3	3.7	61.5
P'e'es'kuuch	6.8	17.3	3.8	9.9	59.1
K'anasin	7.0	9.9	1.8	7.0	81.3
Ya'ax eek'	6.0	12.4	26.5	2.7	58.5
Ts'iits'ilche'	6.5	7.9	30.4	5.8	55.9



Xuul	4.6	5.1	4.1	86.2
K'an chuunup	8.0	3.8	8.2	6.2

Los compuestos volátiles fueron más altos en la especie ts'iits'ilche' (30.4%) y ya' ax eek' (26.5%), mientras que la especie k'anasin (1.8%) mostró el nivel más bajo de esta variable. El carbón obtenido con ciclos de temperaturas entre 500 °C y 700 °C favoreció las posibilidades de cumplir con el requerimiento establecido en normas internacionales de calidad (9 a 16%) en la mayoría de las especies bajo estudio. Las especies ya'ax eek' y ts'iits'ilche' mostraron retención de residuos líquidos y alquitranosos que persisten luego del proceso de carbonización.

El contenido de ceniza fue más bajo en ya'ax eek' (2.7%), lo que favoreció su uso como combustible sólido; mientras que, p'e'es'kuuch registró el nivel más alto de cenizas (9.9%) y éste redujo su aceptabilidad. La ceniza se trata de sustancias minerales, como la arcilla, sílice, óxidos de calcio y magnesio, presentes en la madera. El 50% de las especies, como sak loob (4.0%), ya'axnik (3.7%), ya'ax eek' (2.7%), ts'iits'ilche' (5.8%) y xuul (4.1%) se mantuvieron por debajo del nivel máximo de cenizas presente en el carbón de calidad, según normas internacionales europeas (<6%).

El contenido de carbón fijo fue más alto en xuul (86.2%); mientras que ts'iits'ilche' registró el valor más bajo (55.9%). El carbón fijo es un importante indicador de calidad y se usa como un criterio para clasificar carbón para la industria (Fuentes *et al.*, 2006). Algunas especies cumplieron con los requerimientos mínimos establecidos en normas internacionales europeas para la elaboración de carbón (75 a 78%). A pesar de lo anterior, se observó deficiencia en la elaboración de carbón con el método utilizado en el presente estudio.

La especie xuul mostró valores aceptables para todas las características que propician la calidad del carbón, con niveles inferiores a 8% de humedad en todas las temperaturas de carbonización (Figura 1). Se observó que el contenido de agua se redujo a medida que se incrementó la temperatura y aún más, con el uso de ciclos alternos de temperaturas entre 500 °C y 700 °C. Respuesta similar se observó para el caso del contenido de compuestos volátiles que se

redujo de 30.7% a 5.1% en temperaturas combinadas de 500 °C y 700 °C. El contenido de ceniza se mantuvo por debajo de 6% en todos los tratamientos térmicos incluidos en el estudio. Por último, se registró aumento del contenido de carbono fijo, lo que favoreció la calidad del producto obtenido y éste pasó de 58.9% (500 °C) a 86.2% con la combinación de temperaturas de 500 °C y 700 °C.

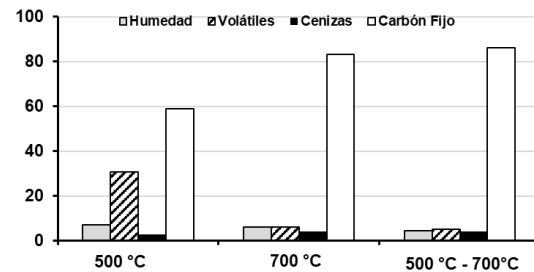


Figura 1. Atributos relacionados con la calidad de carbón elaborado con la especie xuul en tres temperaturas de carbonización. Durango, 2023.

El estudio preliminar de multiples especies vegetales con posibilidades de uso para la producción de bioenergía, permitió la identificación de especies como xuul, también conocido como cuil, palo de chombo y cincho (*Lochocarpus guatemalensis*). Dicha especie, tiene otros atributos como restaurador de terrenos degradados y mejorador de la fertilidad del suelo, mediante la fijación biológica de nitrógeno. Es un árbol melífero, usado como sombra en cultivos de café. Su madera se usa como leña, en construcciones y en la carpintería. La corteza se emplea en la fabricación de insecticidas (REVIVEMX, 2023). Todo lo anterior, favorece la adopción de esta especie para su uso integral, que incluye la producción de carbón de calidad aceptable, conforme a las normas utilizadas internacionalmente.

CONCLUSIONES

La densidad básica mostró relación baja con los atributos que se asocian con la de calidad del carbón. El método implementado en el presente estudio mostró algunas deficiencias para la identificación de especies útiles en la producción de carbón vegetal. A pesar de lo anterior, se puede utilizar para el estudio preliminar de especies con posibilidades de uso en la generación de bioenergía y el establecimiento de la necesidad de densificar algunos tipos de madera blanda (densidad baja). El incremento de la



temperatura y la combinación de ciclos alternos de tratamientos térmicos de 500 °C y 700 °C favorecen la calidad del carbón producido con especies arbustivas y arbóreas endémicas del sureste de México.

LITERATURA CITADA

- Carrillo P., A., R. Foroughbakhch-Pournavab, and V. Bustamante G. 2013. Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) M.C. Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & J.W. Grimes elaborado en horno tipo fosa. Revista Mexicana de Ciencias Forestales 4(17):
- CCMSS. Consejo Ciel Mexicano para la Silvicultura Sostenible, A. C. 2021. La producción forestal en México a lo largo del tiempo: avance y retrocesos. Consultado en línea 06/08/2023. <https://www.ccmss.org.mx/la-produccion-forestal-en-mexico-a-lo-largo-del-tiempo-avances-y-retrocesos/>
- CICY. Centro de Investigación Científica de Yucatán A. C. 2010. Flora de la península de Yucatán. https://www.cicy.mx/Sitios../Flora%20Digital/ficha_virtual.php?especie=2135
- CONABIO. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2023. Enciclovida. Consultado en Línea 06/08/2023. <https://enciclovida.mx/especies/163976-diospyros-yatesiana>
- DIN. Deutsches Institut für Normung. 1989. Prüfung fester brennstoffe-grill-holzkohle und grill holzkohle briquets: Anforderungen und prüfverfahren. Deutsches Institut für Normung. Taschenbuch 31. Berlin, Beuth Verlag. Germany. 4 p.
- EN. European Norm. 2005. EN 1860-2. 2005. Appliances, solid fuels and firelighters for barbecuing - Part 2: Barbecue charcoal and barbecue charcoal briquettes- Requirements and test methods. The British Standards Institution. London, UK. 27 p.
- FAO. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 1983. Procesos de carbonización. In: Métodos simples para fabricar carbón vegetal. Estudio FAO: Montes 41. Roma. 154 p.
- Fuentes H., A. C., D. Salas T., A. Recio R. 2006. Valoración de la calidad de carbón vegetal de las zonas de la EFI "Empresa Forestal Gran Piedra-Bocanao". Revista Cubana de Química XVIII(1): 30-38.
- REVIVEMX. Red de Viveros de Biodiversidad. 2023. Habin/*Lonchocarpus guatemalensis*. Consultado en línea 06/08/2023. <https://revivemx.org/sisviveros2/img/temp/e-species/73/2701/202208152309131.pdf>.
- REVIVEMX. Red de Viveros de Biodiversidad. 2023. Papachote/*Luehea speciosa*. Consultado en línea 06/08/2023. https://revivemx.org/Fototeca/Arboles/Luehea_speciosa/8_Fichas_de_venta/Papachote_v2.pdf#:~:text=PAPACHOTE%2F%20Luehea%20speciosa%20El%20papachote%20pertenece%20a%20la,los%20árboles%20viejos.%20Fructifica%20de%20enero%20a%20mayo.
- Sánchez A., R. y S. Rebollar D. 1999. Deforestación en la península de Yucatán los retos que enfrentar. Madera y Bosques 5(2): 3-17.