



# Caracterización y uso potencial de la vaina de *Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose para diseñar alternativas de aprovechamiento integral

Characterization and potential use of *Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose pod for designing integral-use alternatives

Andrés Morales-Salvatierra<sup>1</sup>, Guadalupe Rodríguez-Castillejos<sup>1\*</sup>, Rubén Santiago Adame<sup>1</sup>, Cristian Lizarazo-Ortega<sup>2</sup>, Octelina Castillo-Ruíz<sup>1</sup>, Régulo Ruíz-Salazar<sup>1</sup> y Sofía Alvarado-Reyna<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Universidad Autónoma de Tamaulipas. Unidad Académica Multidisciplinaria Reynosa-Aztlán. Ciudad Reynosa, Tamaulipas, México.

<sup>2</sup> Instituto Politécnico Nacional. Centro de Biotecnología Genómica. Ciudad Reynosa, Tamaulipas, México.

\* Autora de correspondencia. [gcastillejos@uat.edu.mx](mailto:gcastillejos@uat.edu.mx)

## RESUMEN

El árbol del ébano (*Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose) tiene como fruto una vaina conocida, las semillas dentro de la vaina tienen un alto contenido proteico. Pese a su amplia distribución y cantidad en el noreste de México, no se ha registrado algún uso para la vaina, convirtiéndose en un residuo. Por ello, el objetivo de este trabajo fue evaluar las propiedades físicas, químicas y funcionales de la vaina de ébano y generar información útil a las comunidades para el aprovechamiento integral de árbol como suplemento en alimentación animal, fermentaciones industriales o fuente de antioxidantes. Se encontró que la vaina tuvo longitud promedio de 10.16 cm, diámetro de 14.85 cm, ancho de 0.54 cm y peso de 5.19 g. En cuanto a las características físicas y proximales, la absorción de agua fue de 50%, absorción de aceite 1.89%, densidad 0.53 g/cm<sup>3</sup>. Los parámetros de color fueron L\* 56.6, a\* 8.07, b\* 26.78, mientras que el contenido proximal fue 2.40% humedad, 30.9% cenizas, 0.56% grasa, 47.7% fibra, 45.2 carbohidratos y 1% proteína. Se encontró también que la máxima concentración de xilosa (33.8 g) se obtuvo con 6% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Los resultados indican que este residuo puede utilizarse como fuente de fibra para suplementación animal, o bien aprovechar la xilosa para medios de cultivo económicos a escala industrial o, incluso, la obtención de polifenoles a partir de extractos orgánicos.

**PALABRAS CLAVE:** aprovechamiento, biotecnología, ébano, lignocelulosa, propiedades, residuo.

## ABSTRACT

The ebony tree (*Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose) has a known pod as fruit, the seeds inside the pod have a high protein content; despite its wide distribution and quantity in northeastern Mexico, no use has been reported for the pod, making it a waste product. Therefore, the objective of this work was to evaluate the physical, chemical, and functional properties of ebony pods and to generate useful information for the communities for the integral use of the ebony tree as a supplement in animal feed, industrial fermentations or as a source of antioxidants. It was found that the pod had an average length of 10.16 cm, diameter 14.85 cm, width 0.54 cm, and weight 5.19 g; in terms of physical and proximal characteristics, water absorption was 50%, oil absorption 1.89%, density 0.53 g/cm<sup>3</sup>; color parameters were L\* 56.6, a\* 8.07, b\* 26.78, while the proximal content was 2.40% moisture, 30.9% ash, 0.56% fat, 47.7% fiber, 45.2 carbohydrates and 1% protein. It was also found that the maximum xylose concentration (33.8 g) was obtained with 6% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. The results indicate that this residue can be used as a source of fiber for animal supplementation or take advantage of xylose for economic culture media at industrial level or even obtaining polyphenols from organic extracts.

**KEYWORDS:** use, biotechnology, ebony tree, lignocellulose, properties, residue.

## INTRODUCCIÓN

El árbol de ébano (*Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose) pertenece a la familia *Leguminosae*, subfamilia mimosoidea, se distribuye en regiones tropicales y subtropicales y especialmente en lugares áridos y semiáridos. En México hay aproximadamente 34 géneros y 482 especies de esta familia, la cual es originaria de la costa occidental del Golfo de México (De Stefano y Cetzal, 2017). En condiciones de crecimiento favorables puede medir hasta 15 m de altura, tiene un característico color pardo oscuro, ramas gruesas y espinas pareadas de color gris; sus flores son de color amarillo o crema y su fruto es una vaina leñosa que contiene de seis a 12 semillas (Mora Olivo y Martínez-Ávalos, 2012). Las flores de este árbol son racimos densos color crema o amarillo y le dan al árbol un toque pintoresco. Es un árbol de crecimiento lento, se adapta muy bien a temperaturas extremas y requiere de mucha agua en los periodos calurosos, por lo cual es una especie ideal para restauración y reforestación de suelos degradados y plantaciones forestales. Algunos insectos, como el gorgojo del frijol (*Algarobius prosopis* LeConte), la chinche de la conchuela (*Chlorochroa ligata* (Say.)) y ácaros, pueden dañar las vainas y semillas del ébano. Además de los insectos, también algunos hongos pueden causar daño a la vaina y semillas (Jiménez-Pérez et al., 2009).

El árbol de ébano forma parte del llamado matorral espinoso tamaulipeco, el cual abarca una superficie de más de 200 000 km<sup>2</sup> en el noreste de México y sur de Texas en Estados Unidos (Leal et al., 2018). Este árbol es preferido por la sombra que produce su amplio follaje, es una especie maderable, sin embargo, tiene poco aprovechamiento industrial. Los usos más comunes de la madera de ébano son como carbón y en fabricación de muebles, además, se consumen sus semillas (Carillo-Parra et al., 2013). En algunas comunidades donde abundan los árboles de ébano la madera se emplea también para mangos de cuchillos y diversos artículos decorativos (Martí, 1998). Además de los usos ya mencionados, las abejas utilizan polen y néctar de sus flores dando como resultado una miel clara. Por lo regular se encuentra en zonas aledañas a ranchos por su

proporción de sombra y su fruto es utilizado como forraje (Comisión Nacional Forestal [Conafor], 2020). Tanto en la corteza como en la vaina de ébano, el principal componente es la hemicelulosa, ambos son residuos ricos en lignocelulosa por lo cual tienen potencial para ser aprovechados en diferentes campos de la industria (Canevari et al., 2016). Por otro lado, la vaina puede ser aprovechada para suplementar alimentos para animales, o bien, de ella pueden obtenerse compuestos polifenólicos para diversos usos como cremas e infusiones, entre otros. Al retirarse las semillas, la vaina es desechada, por lo que su análisis podría generar información útil para un aprovechamiento integral del árbol del ébano.

## OBJETIVOS

Evaluar las propiedades físicas, químicas y funcionales de vainas de ébano obtenidas de árboles muestreados en Reynosa, Tamaulipas, México, para determinar la conveniencia de su uso como suplemento en la alimentación animal, para fermentaciones industriales, en aras de un aprovechamiento integral del árbol.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

Las vainas fueron recolectadas en Reynosa, ubicada al norte del estado de Tamaulipas (Fig. 1) entre las coordenadas 26°05'32" de latitud norte y 98°16'41" de longitud oeste, a una altitud de 32 m s.n.m.; tiene un clima subhúmedo y la vegetación predominante son matorrales (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi], 2020a).

### Muestreo de árboles

Las vainas de ébano fueron recolectadas durante los meses de julio y agosto de 2020 en diferentes puntos de la ciudad de Reynosa, en las coordenadas 26°03'19.9"N 98°19'28.2"O, 26°03'48.6"N 98°19'18.5"O y 26°03'47.3"N 98°19'40.1"O. Se seleccionaron al azar 300 vainas y se separaron en grupos de 100, posteriormente se registró su peso usando una balanza con 0.0001 g de resolución. Se



separaron las semillas de las vainas y estas últimas se almacenaron a 4 °C hasta su uso para evitar el crecimiento de hongos o insectos.

### Determinación de propiedades físicas

Para los análisis proximales y algunas propiedades físicas, las vainas fueron trituradas en un molino de 10 kg (Anself HC-2000) para obtener harina. Empleando un calibrador digital pie de rey, se midieron longitud, ancho y grosor de las vainas; con estas dimensiones se calcularon diámetro geométrico (D), esfericidad ( $\phi$ ), volumen (V), área superficial (S) y relación de aspecto (R), de acuerdo con la metodología propuesta por Hernández-Santos et al., (2014). Esta información es importante para determinar el efecto cinético sobre su flujo en bandas, separadores, máquinas de limpieza, entre otras, que permitan un mejor aprovechamiento industrial (Hernández-Santos et al., 2014).

Para la evaluación del color, se utilizó un colorímetro HunterLabMiniScan XE Plus (modelo 45/0-L. Hunter Assoc. Reston VA, USA), el cual se calibró con una teja blanca y una negra; las muestras se colocaron en un fondo blanco y se realizaron tres mediciones obteniéndose los atributos de luminosidad ( $L^*$ ),  $a^*$  y  $b^*$  de la escala de Hunter. Con estos datos se calcularon los parámetros de saturación ( $C^*$ ) y matiz ( $H^*$ ).

La densidad aparente se determinó colocando 50 g de la harina en una probeta graduada de 100 mL, la probeta se golpeó contra la palma de la mano 10 veces y se registró el volumen final ocupado por la harina para obtener la densidad en gramos por centímetro cúbico (Hernández-Santos et al., 2014). El pH se determinó con un potenciómetro (Hanna Edge pH), para ello se colocó 1 g de harina en 10 mL de agua destilada de acuerdo con la metodología de Hernández-Santos et al. (2014).



FIGURA 1. Ubicación del estado de Tamaulipas, en los Estados Unidos Mexicanos.

El punto rojo indica al estado de Tamaulipas  
Fuente: Inegi (2020b).

### Análisis químico proximal

Para la determinación del contenido proximal se utilizaron los métodos oficiales de la American Association of Cereal Chemists (AACC, 1995); el contenido de proteína total por el método de Kjeldahl (método oficial 46-13.01), fibra cruda (método oficial 32-10.01), cenizas (método oficial 08-03.01), grasa (método oficial 30-10.01) y humedad (método oficial 44-15.02). El contenido de carbohidratos se determinó por diferencia.

### Propiedades funcionales

La capacidad de emulsificación se analizó de la siguiente manera, se mezcló la harina obtenida en agua destilada (relación 1:20 g/g), se agitó vigorosamente y se dejó reposar por 15 minutos; pasado este tiempo se mezcló con partes iguales de aceite vegetal (gramos) y nuevamente se agitó de manera vigorosa por tres minutos. Finalmente se centrifugó por cinco minutos a 10 000 min<sup>-1</sup>. El índice de emulsificación se expresó como porcentaje de la altura de la capa emulsionada con respecto al contenido total de líquido (Yasumatsu et al., 1992). Para determinar la capacidad de absorción de agua (WAC) y la capacidad de solubilidad en agua (CSM) se añadieron 10 ml de agua destilada a un gramo de muestra, posteriormente se agitó en un vórtex (Vortex-2 Genie, modelo G-560) durante 30 segundos y se centrifugó a 15 000 min<sup>-1</sup> por 15 min (Centrífuga Universal Compact HERMLE Labortechnik GmbH Mod Z 200A). Se decantó el sobrenadante en una cápsula de porcelana tarada. La CSM se calculó como el peso del sedimento después de la eliminación del sobrenadante por unidad de peso inicial de sólidos en una base seca; mientras que la WAC se calculó como el peso seco de los sobrenadantes sólidos como un porcentaje de peso de la muestra original. Los resultados se expresaron como porcentaje de gramos de agua retenidos por gramo de muestra (Anderson et al., 1964).

### Hidrólisis ácida

Otro aspecto que se evaluó en la harina fue la obtención de xilosa por medio de hidrólisis con ácido sulfúrico. La xilosa es una materia prima metabolizada por una gran diversidad de microorganismos, principalmente hongos. Sin embargo,

las investigaciones se han centrado en la obtención de etanol y xilitol a partir de esta pentosa (Ledezma-Orozco et al., 2018). La hidrólisis se realizó con 2%, 4% y 6% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> manteniendo una relación sólido/líquido de 1:6. Una vez añadido del ácido, la mezcla se llevó a la autoclave a 121 °C por 60 minutos después de los cuales, se enfrió, centrifugó y filtró para separar el jarabe rico en xilosa. La concentración de xilosa y ácido acético se determinaron mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC HP-1100) utilizando una columna Transgenomic ION-300, con una temperatura de horno de 45 °C y elución isocrática de 0.4 mL min<sup>-1</sup> de flujo de fase móvil (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0025 M) (Ledezma Orozco et al., 2018).

### Análisis estadístico

Todas las determinaciones se realizaron por triplicado, a excepción del color que se determinó cinco veces; se obtuvo el promedio y la desviación estándar de cada parámetro. Para el contenido de polifenoles y la obtención de xilosa se hizo un análisis de varianza seguido de una comparación de medias utilizando una postprueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ); ambos análisis se realizaron en el programa RStudio v4.0.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Propiedades físicas

Los valores promedio de largo, peso y volumen de las vainas de ébano obtenidos (Tabla 1) pueden ser usados para el diseño del procesamiento industrial de la cáscara, desde la separación de la semilla hasta la obtención de la harina. La caracterización lineal-espacial se relaciona directamente con factores como tiempo, humedad y temperatura de almacenamiento. En muchos casos, después de la separación de los granos o semillas, el resto de la planta se considera un residuo; el cual en la mayoría de los casos genera contaminación ambiental. Esta biomasa que, además de la agricultura, proviene de fuentes forestales e industria, tiene potencial para ser utilizada como energía o alimento (Akkoli et al., 2018). Por ello, es importante desarrollar un estudio inicial del material con los parámetros



necesarios para tratarlo en diferentes especificaciones bajo corriente turbulenta de aire, para diseño de separadores y para limpieza de la semilla, tomando en cuenta la temperatura y el flujo de transferencia de masas en las semillas, y facilitando operaciones como secado, tamizado, enfriado o calentamiento (Vishwakarma et al., 2012).

### Propiedades funcionales

Las propiedades funcionales de los compuestos utilizados como alimentos o aditivos se asocian con propiedades fisicoquímicas y estructurales y son importantes para definir procesamiento, aplicaciones e incluso formas de almacenamiento (Hernández-Santos et al., 2014). Por ello, es importante la determinación de parámetros de las características físicas y químicas, que permitan definir el uso de las diversas materias primas. La harina obtenida de cáscara de ébano mostró un índice de emulsificación de 13.33%; Aguilera-Gutiérrez et al., (2009) realizaron una caracterización de diferentes harinas de leguminosas obteniendo una capacidad de emulsificación de 12% en garbanzo castellano, lo cual es similar a lo obtenido en la harina de vaina de mahuacata. En ese mismo estudio se encontró que la harina de lenteja tuvo 47% de capacidad de emulsificación y la harina de judías Cannellini 4%. Por otro

lado, dichos autores evaluaron la capacidad de absorción de agua obteniendo 49% y 48% para garbanzo Sinaloa y lenteja pardina; respectivamente; estos valores fueron similares a los datos obtenidos en el presente trabajo (Tabla 2).

En cuanto a los atributos de color de la harina (Tabla 2), los valores de  $a^*$  y  $b^*$  se sitúan en el área de los rojos ( $a^+$ ) y amarillos ( $b^+$ ); el valor de tono o matiz ( $H^*$ ) fue inferior a 90, lo que la ubica como harina amarilla-verdosa; por otro lado, el valor de saturación ( $C^*$ ) y el de luminosidad ( $L^*$ ) la ubican en los tonos grisáceos. El color es importante en la formulación de alimentos, ya que es una característica sensorial importante, por lo que se mide de forma objetiva con un colorímetro. Aunque pudiera pensarse que esta característica es solo importante para los alimentos humanos, algunos estudios han mostrado que no es así; Di Donfrancesco *et al.*, (2014) evaluaron ocho diferentes formulaciones de alimentos para perros y entrevistaron a los dueños de las mascotas, quienes mencionaron que el color es una característica importante para la elección del alimento, señalando que era más importante que el aroma a la hora de elegir el alimento; lo que confirma que es una propiedad física de los alimentos que debe considerarse.

TABLA 1. Propiedades físicas de vainas de *Ebenopsis ébano* en Reynosa, Tamaulipas, México.

Variabes	Promedios
Largo (cm)	10.156 ± 1.5
Diámetro (cm)	14.85 ± 1.62
Ancho (cm)	0.544 ± 0.08
Peso (g)	5.19 ± 0.755
Diámetro geométrico (mm)	27.34 ± 0.99
Esfericidad (mm)	269.2 ± 11
Área superficial (mm <sup>2</sup> )	2348.28 ± 27
Volumen (mm)	54.15 ± 2.4
Radio visual (mm)	68.39 ± 1.8

TABLA 2. Propiedades químicas de vainas de *Ebenopsis ébano* en Reynosa, Tamaulipas, México.

Variabes	Promedios
Capacidad de absorción de agua (%)	50 ± 0.04
capacidad de absorción de aceite (%)	1.89 ± 0.003
Índice de emulsificación (%)	13.33 ± 0.12
Densidad a granel (g/cm <sup>3</sup> )	0.53 ± 0.001
pH	5.5 ± 0.02
$L^*$	56.66 ± 0.33
$a^*$	8.07 ± 0.064
$b^*$	26.78 ± 0.16
Matiz (H)	73.22 ± 0.45
Saturación (C)	27.97 ± 0.24

$L^*$ : luminosidad  $a^*$ : coordenadas rojo/verde,  $b^*$ : coordenadas amarillo/azul. H: matiz C: saturación

### Propiedades proximales

En el caso de las propiedades proximales de la vaina de mahuacata (Tabla 3), el contenido de humedad fue de 2.40%, esto se encuentra por encima de lo observado en residuos lignocelulósicos de silos de café (Oliveros-Tascón et al., 2014). El porcentaje de humedad es un factor determinante no solo de la calidad sino de la estabilidad de los alimentos; el secado, a pesar de ser un procedimiento sencillo tiene gran relevancia en el procesamiento de estos productos (Quijije-Mero et al., 2019). En lo que respecta al contenido de cenizas, se obtuvo 3.09% de cenizas totales; las cenizas son una medida del total de minerales en el alimento. dado que una propuesta es el uso de esta materia prima como suplemento en alimentación animal, es importante mencionar que los minerales son indispensables para todos los seres vivos; muchas de las enzimas están reguladas por estos por lo que activan diversos procesos metabólicos (García et al. 2014).

En los animales, al igual que en los humanos, una deficiencia de minerales repercute en el estado nutricional. El contenido de grasa encontrado fue bajo y el de fibra alto (Tabla 3). Para el caso de proteínas, se encontraron niveles traza en la harina; esto puede deberse a que, al ser un residuo lignocelulósico, presenta principalmente fibra. La producción de animales es un campo amplio en el que el puede aplicarse el estudio de subproductos agrícolas o forestales para obtener formu-lados de alta calidad nutricional; ya que en esta área se requiere de alimentos balanceados; en este sentido se han utilizado subproductos comunes derivados de maíz, arroz, caña e incluso vísceras de otros animales (Serna, 2015; Goulart et al., 2020). Los resultados sugieren que el subproducto aquí estudiado podría ser utilizado como una opción en la alimentación de ganado, dado su alto contenido de fibra.

### Hidrólisis ácida

En los hidrolizados ácidos se encontró una concentración máxima de xilosa de 33.8 g L<sup>-1</sup> en el hidrolizado con 6% de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (Tabla 4), estos resultados son similares a los obtenidos por Fehér et al. (2017) en rastrojo de maíz (38.9 g L<sup>-1</sup>); lo que sugiere la vaina de ébano puede ser una

fuerza importante de xilosa para diversos microorganismos que permitan la obtención de compuestos como xilitol, butanodiol, ácido glutárico, etileno, ácido, 3-4-dihidroxibutírico, acetoína, ácido glicólico; entre otros (Gao et al., 2017; Salusjärvi et al., 2017; Guo et al., 2018; Wang et al., 2018).

TABLA 3. Propiedades funcionales de vainas de *Ebenopsis ebano* en Reynosa, Tamaulipas, México.

Variables	Promedios (%)
Humedad	2.40 ± 0.05
Cenizas	3.09 ± 0.03
Grasa	0.56 ± 0.002
Fibra	47.725 ± 0.8
Carbohidratos*	46.2
Proteínas	ND

ND. No detectada

TABLA 4. Concentraciones de xilosa en los hidrolizados de harina (g L<sup>-1</sup>) con diferentes concentraciones de ácido.

% de ácido	Xilosa
2%	11.182 + 0.27c
4%	22.463 + 1.31b
6%	33.852 + 3.36a

a,b,c Letras diferentes en la misma fila indican diferencias estadísticas significativas (p≤0.05)

Además de los compuestos mencionados, en un estudio previo se analizó la concentración de compuestos polifenólicos (Morales-Salvatierra et al., 2020) y se encontró que este residuo es una fuente de taninos y fenoles. En la vaina de ébano se encontró un alto contenido de antioxidantes en comparación con los registrados en otros estudios para diferentes partes de plantas como en *Salvia aratocensis* (Cardeño et al., 2007), mezquite (*Prosopis velutina* Wooton) (Ramírez-Rojo et al., 2018) y frijol (Salas et al., 2016). Los resultados de dichos estudios sugieren que los subproductos de leguminosas o partes no comestibles de diversas plantas tienen potencial de explotación para la



obtención de compuestos con capacidad antioxidante; como es el caso de la vaina de ébano. Además de esto, es importante mencionar que estos subproductos son una buena alternativa como alimentación de ganado, no solo por su alto contenido de fibra, sino por su bajo contenido de taninos comparado con los subproductos comunes, ya que estos son considerados compuestos antinutricionales (Guevara-Oquendo et al., 2020). El consumo de alimentos con alto contenido de antioxidantes se ha relacionado con la prevención de diversas enfermedades cardiovasculares, neurológicas, endocrinas, gástricas y cancerígenas, debido a la disminución del estrés oxidativo. Aunque el cuerpo humano cuenta con mecanismos para el control de la producción de antioxidantes, también se sabe que diversos alimentos tienen metabolitos para el control exógeno de radicales libres (Coronado et al., 2015). Los residuos agrícolas o forestales son una fuente para obtener diversos fitoquímicos antioxidantes, los cuales pueden aprovecharse de diversas formas y aportar sus propiedades benéficas a productos como alimentos, cremas y bebidas, entre otros. Al ser obtenidos de residuos, se tienen como ventaja un menor precio de producción y el aprovechamiento de materias primas poco convencionales. El invierno es una época difícil para los agricultores debido a la poca disponibilidad de forraje, por lo que acuden a diversos árboles o arbustos (Nawab et al. 2020); por ello, la vaina de ébano podría ser una buena alternativa en la alimentación de ganado, no solo por su alto contenido de fibra, sino por su bajo contenido de taninos en comparación con los subproductos comunes (Guevara-Oquendo et al., 2020). Las plantas que crecen de forma silvestre, como el ébano, podrían considerarse un importante reservorio de polifenoles debido a las condiciones ambientales a las que sobreviven (Martínez-López et al., 2021).

## CONCLUSIONES

Los resultados muestran que la harina obtenida de la vaina de *Ebenopsis ebano* tiene un alto contenido de fibra, pero bajo o nulo de proteínas; por lo cual puede ser aprovechado en la suplementación de alimentos para animales, espe-

cialmente para rumiantes. Por otro lado, también podría utilizarse para la obtención de xilosa y otros azúcares, para el diseño de medios de cultivo y crecimiento de microorganismos de interés industrial. Lo anterior sugiere que este residuo lignocelulósico puede ser potencialmente aprovechado en diversas industrias. Dado que el árbol de ébano está distribuido en el estado de Tamaulipas, especialmente en zonas rurales, el uso del residuo podría contribuir a la economía de pequeñas localidades.

## REFERENCIAS

- Aguilera, Y., Esteban, R. M., Benitez, V., Molla, E., & Martín-Cabrejas, M. A. (2009). Starch, functional properties, and microstructural characteristics in chickpea and lentil as affected by thermal processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(22), 10682-10688. <https://doi.org/10.1021/jf902042r>
- Akkoli, K. M., Gangavati, P. B., Ingalagi, M. R., & Chitgopkar, R. K. (2018). Assessment and characterization of agricultural residues. *Materials Today: Proceedings*, 5(9), 17548-17552. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2018.06.071>
- American Association of Cereal Chemists (AACC). (1995). *Approved methods of the American association of cereal chemists* (9th ed.). Method 46-13.01 crude protein. Method 32-10.01 crude fiber in flour, bread and baked cereal products. Method 08-03.01 ash-basic method. Method 30-10.01 crude fat in flour, bread and baked cereal products. Method 44-15.02 moisture-air-oven methods.
- Anderson, R. A., Conway, H. F., Pfeifer, V. F., & Griffin, E. L. (1964). Gelatinization of corn grits dry roll and extrudates-cooking. *Cereal Science Today*, 14, 4-12.
- Canevari, C., Delorenzi, M., Invernizzi, C., Licchelli, M., Malagodi, M., Rovetta, T., & Weththimuni, M. (2016). Chemical characterization of wood samples colored with iron inks: insights into the ancient techniques of wood coloring. *Wood Science and Technology*, 50(5), 1057-1070. <http://doi.org/10.1007/s00226-016-0832-2>
- Cardeno, Á. V., Molina, M. C., Miranda, I., García, G. T., Morales, J. M., & Stashenko, E. E. (2007). Actividad antioxidante y contenido total de fenoles de los extractos etanólicos de *Sabvia aratocensis*, *Sabvia sochensis*, *Bidens reptans* y *Montanoa ovalifolia*. *Scientia et Technica*, 13(33), 205-207.
- Carrillo-Parra, A., Foroughbakhch-Pournavab, R., & Bustamante-García, V. (2013). Calidad del carbón de *Prosopis laevigata* (Humb. & Bonpl. ex Willd.) MC Johnst. y *Ebenopsis ebano* (Berland.) Barneby & JW Grimes elaborado en horno tipo fosa. *Revista*

- Mexicana de Ciencias Forestales*, 4(17), 62-71. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v4i17.421>
- Comisión Nacional Forestal [Conafor] (2010). *Ebenopsis ebano* (Berl.) Britton et Rose. <http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/919Ebenopsis%20ebano%20.pdf>
- Coronado, M., Vega y León, S., Gutiérrez, R., Vázquez, M., & Radilla, C. (2015). Antioxidantes: perspectiva actual para la salud humana. *Revista Chilena de Nutrición*, 42(2), 206-212. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182015000200014>
- De Stefano, R., & Cetzal, W. (2017). La subfamilia mimosoideae (Fabaceae) en la península de Yucatán, México. *Desde El Herbario CICY*, 9, 1-8.
- Fehér, A., Fehér, C., Rozbach, M., Rácz, G., Fekete, M., Hegedűs, L., & Barta, Z. (2018). Treatments of lignocellulosic hydrolysates and continuous-flow hydrogenation of xylose to xylitol. *Chemical Engineering & Technology*, 41(3), 496-503. <https://doi.org/10.1002/ceat.201700103>
- Gao, H., Gao, Y., & Dong, R. (2017). Enhanced biosynthesis of 3, 4-dihydroxybutyric acid by engineered *Escherichia coli* in a dual-substrate system. *Bioresource Technology*, 245, 794-800. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.017>
- García, F. N., González, J. C. M., Fortuna, P. Z., Félix, J. J., Hinojosa, M. A. I., Martínez, A. G. L., & Reyna, A. G. (2014). Efecto de la suplementación parenteral de minerales en algunos parámetros productivos y reproductivos en ovejas de pelo. *Zootecnia Tropical*, 32(2), 131-138.
- Goulart, R. S., Vieira, R. A., Daniel, J. L., Amaral, R. C., Santos, V. P., Toledo Filho, S. G., & Nussio, L. G. (2020). Effects of source and concentration of neutral detergent fiber from roughage in beef cattle diets: Comparison of methods to measure the effectiveness of fiber. *Journal of Animal Science*, 98(5), 1-8. <https://doi.org/10.1093/jas/skaa108>
- Guevara-Oquendo, V. H., Espinosa, M. R., & Yu, P. (2020). Nutrient profiles and pelleting effect of different blended co-products for dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, 272, 114740. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114740>
- Guo, X. W., Zhang, Y., Li, L. L., Guan, X. Y., Guo, J., Wu, D. G., Chen, Y. F., & Xiao, D. G. (2018). Improved xylose tolerance and 2, 3-butanediol production of *Klebsiella pneumoniae* by directed evolution of rpoD and the mechanisms revealed by transcriptomics. *Biotechnology Biofuels*, 11(1), 1-18. <https://doi.org/10.1186/s13068-018-1312-8>
- Hernández-Santos, B., Santiago-Adame, R., Navarro-Cortéz, R. O., Gómez-Aldapa, C. A., Castro-Rosas, J., Martínez-Sánchez, C. E. & Rodríguez-Miranda, J. (2014). Physical properties of ebony seed (*Pithecellobium flexicaule*) and functional properties of whole and defatted ebony seed meal. *Journal of Food Science and Technology*, 52(7), 4483-4490. <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1482-8>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2020a). Anuario de estadística por entidad federativa 2020. [https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod\\_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva\\_estruc/702825197513.pdf](https://www.inegi.org.mx/contenidos/productos/prod_serv/contenidos/espanol/bvinegi/productos/nueva_estruc/702825197513.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía [Inegi] (2020b). *Cuéntame de México*. <https://cuentame.inegi.org.mx/default.aspx>
- Jiménez-Pérez, J., Alanís-Rodríguez, E., Aguirre-Calderón, Ó., Pando-Moreno, M., & González-Tagle, M. (2009). Análisis sobre el efecto del uso del suelo en la diversidad estructural del matorral espinoso tamaulipeco. *Madera y Bosques*, 15(3), 5-20. <https://doi.org/10.21829/myb.2009.1531183>
- Leal-Elizondo, N. A., Alanís-Rodríguez, E., Mata-Balderas, J. M., Treviño-Garza, E. J., & Yerena-Yamalle, J. I. (2018). Estructura y diversidad de especies leñosas del matorral espinoso tamaulipeco regenerado postganadería en el noreste de México. *Polibotánica*, 45, 75-88. <https://doi.org/10.18387/polibotánica.45.6>
- Ledezma-Orozco, E., Ruíz-Salazar, R., Bustos-Vázquez, G., Montes-García, N., Roa-Cordero, V., & Rodríguez-Castillejos, G. (2018). Producción de xilitol a partir de hidrolizados ácidos no detoxificados de bagazo de sorgo por *Debaryomyces hansenii*. *Agrociencia*, 52(8), 1095-1106.
- Martínez-López, J. N., Torres-Castillo, J. A., Rodríguez-Castillejos, G. C., Martínez-Ávalos, J. G., Ortíz-Espinoza, E., & Marroquín-Cardona, A. G. (2021). Compuestos fenólicos y capacidad antirradicalaria de cinco accesiones silvestres de *Portulaca oleracea* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 12(6), 1020-1030. <https://doi.org/10.29312/remexca.v12i6.2729>
- Morales-Salvatierra, A., Santiago Adame, R., Lizarazo-Ortega, C., Treviño-Salinas, M., & Rodríguez-Castillejos, G. (2020). Obtención y cuantificación de compuestos antioxidantes de cáscara de mahuacata. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 5, 722-726.
- Mora-Olivo, A. & Martínez-Ávalos J. (2012). *Plantas silvestres del bosque urbano, Cd. Victoria, Tamaulipas, México*. Universidad Autónoma de Tamaulipas.
- Nawab, A., Tang, S., Gao, W., Li, G., Xiao, M., An, L., & Liu, W. (2020). Tannin supplementation in animal feeding: mitigation strategies to overcome the toxic effects of tannins on animal health: a review. *Journal of Agricultural Science*, 12(4), 217-230. <https://doi.org/10.5539/jas.v12n4p217>



- Oliveros-Tascón, C. E., López, L., Buitrago, C. M., & Moreno, E. L. (2014). Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos. *Cenicafé*, 61(2), 108-118.
- Quijije-Mero, R. A., Villareal-De la Torre, D. J., & Chinga-Alcívar, B. A. (2019). Evaluación bromatológica de la harina de pescado procesada en la fábrica TADEL SA. *Revista de Ciencias del Mar y Acuicultura YAKU*, 2(3), 16-25.
- Ramírez-Rojo, M. I., Vargas-Sánchez, R. D., Hernández-Martínez, J., Martínez Benavidez, E., Sánchez-Escalante, J. J., Torrescano-Urrutia, G. R., & Sánchez Escalante, A. (2018). Actividad antioxidante de extractos de hoja de mezquite (*Prosopis velutina*). *Biocencia*, 21(1), 113-119. <https://doi.org/10.18633/biocencia.v21i1.821>
- Salas, R., Ordoñez, E., & Reátegui, D. (2016). Polifenoles totales y capacidad antioxidante (DPPH y ABTS) en cuatro variedades de frejol (*Phaseolus vulgaris* L.) Crudo seco, remojado y cocido. *Investigación y Amazonía*, 5(1-2), 55-62.
- Salusjärvi, L., Toivari, M., Vehkomäki, M. L., Koivistoinen, O., Mojzita, D., Niemelä, K., & Ruohonen, L. (2017). Production of ethylene glycol or glycolic acid from D-xylose in *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied microbiology and biotechnology*, 101, 8151-8163. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8547-3>
- Vishwakarma, R. K., Shivhare, U. S., & Nanda, S. K. (2012). Physical properties of guar seeds. *Food and Bioprocess Technology*, 5(4), 1364-1371. <https://doi.org/10.1007/s11947-011-0514-x>
- Wang, J., Shen, X., Lin, Y., Chen, Z., Yang, Y., Yuan, Q., & Yan, Y. (2018). Investigation of the synergetic effect of xylose metabolic pathways on the production of glutaric acid. *ACS Synthetic Biology*, 7(1), 24-29. <https://doi.org/10.1021/acssynbio.7b00271>
- Yasumatsu, K., Sawada, K., Moritaka, S., Misaki, M., Toda, J., Wada, T., & Ishii, K. (1972). Whipping and emulsifying properties of soybean products. *Agricultural and Biological Chemistry*, 36(5), 719-727. <https://doi.org/10.1080/00021369.1972.10860321>

Manuscrito recibido el 19 de enero de 2021

Aceptado el 14 de junio de 2022

Publicado el 18 de julio de 2023

Este documento se debe citar como:

Morales-Salvatierra, A., Rodríguez-Castillejos, G., Santiago Adame, R., Lizarazo-Ortega, C., Castillo-Ruiz, O., Ruiz-Salazar, R., & Alvarado-Reyna, S. (2023). Caracterización y uso potencial de la vaina de *Ebenopsis ebano* para diseñar alternativas de aprovechamiento integral. *Madera y Bosques*, 23(1), e2912309. <https://doi.org/10.21829/myb.2023.2912309>



Madera y Bosques por Instituto de Ecología, A.C. se distribuye bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercialCompartirIgual 4.0 Internacional.