

## RESEARCH ARTICLE

# Anatomía, química y características energéticas de *Baccharis heterophylla*: especie con valor ecológico en la Sierra Juárez, Oaxaca, México

## Potential distribution, anatomy, chemistry, and energetic characteristics of *Baccharis heterophylla*: an ecologically valuable species in the Sierra Juárez, Oaxaca, Mexico

Mario Ernesto Suárez-Mota<sup>1</sup>, Irene Bautista-Juárez<sup>1\*</sup>, Wenceslao Santiago-García<sup>1</sup>, Faustino Ruiz-Aquino<sup>1</sup> & Luis Barbo Hernández-Portilla<sup>2</sup>

<sup>1</sup>División de Estudios de Postgrado, Laboratorio de Conservación de los Recursos Forestales, Universidad de la Sierra Juárez, Avenida Universidad s/n, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México.

<sup>2</sup>Laboratorio Nacional En Salud, Diagnóstico Molecular y Efecto Ambiental en Enfermedades Crónico-Degenerativas, Facultad de Estudios Superiores Iztacala, Universidad Nacional Autónoma de México, Avenida de los Barrios s/n los Reyes Iztacala, Tlalnepantla de Baz. Estado de México, México.

\*Corresponding author: ire.bj92@gmail.com

### RESUMEN

La Sierra Juárez de Oaxaca es una región privilegiada por su capacidad de retención de agua y su biodiversidad, sin embargo, en sus bosques se ha evidenciado la pérdida de vegetación primaria por el cambio de uso de suelo. De esta manera, se forman bosques secundarios, cuya característica es la pérdida de la estructura y composición original. El objetivo de la presente investigación fue determinar la anatomía, composición química y características energéticas de *Baccharis heterophylla* Kunth, en la Sierra Juárez de Oaxaca. La anatomía de la especie se describió de acuerdo con las recomendaciones de la IAWA. Los componentes químicos y energéticos se determinaron mediante las normas ASTM. El análisis elemental se llevó a cabo empleando un equipo de Plasma Acoplado Inductivamente con detector de Masas. Los valores de la composición anatómica, química y energética presentaron una variación reducida en los tres sitios estudiados: 8,03 % extractivos, 22,52 % lignina y 68,36 % holocelulosa, 10,96 % de humedad, 96,95 % de material volátil, 0,85 % de cenizas, 31 % de carbono fijo, 27,16 MJKg<sup>-1</sup> en poder calorífico superior y 23,90 MJKg<sup>-1</sup> para poder calorífico inferior, los resultados anteriores demuestran que la madera de *B. heterophylla* tiene importancia ecológica y aptitud para emplearse como leña. Se recomienda prestar atención en los bosques secundarios ya que son clave en el suministro de lo que hoy se conoce como bienes y servicios ambientales.

**Palabras clave:** Asteraceae, Chamizo, Ixtlán, Villa Alta, Mixe.

### ABSTRACT

The Sierra Juárez de Oaxaca is a privileged region due to its enormous water catchment capacity and remarkable biological diversity. The objective of the present research was to determine the current status of secondary forests in the Sierra Juárez de Oaxaca. Data on the anatomy of the species were described according to IAWA recommendations. Chemical and energetic components were determined using ASTM standards. Elemental

Received: 30.10.2025; Accepted: 16.04.2026

Editor: Cristian Atala

Open Access

©2026 The Author(s). This open access article is distributed under the terms of the [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License \(CC BY-NC 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/), which permits any noncommercial use, distribution, and reproduction, as long as appropriate credit is given to the original author(s) and the source.

analysis was carried out using the semiquantitative technique with an Inductively Coupled Plasma Mass Detector. Regarding the potential water recharge zones in secondary forests, the possibility of very high, high and medium water recharge was observed. The values of anatomical, chemical and energetic composition showed a reduced variation in the three sites studied: 8.03 % extractives, 22.52 % lignin and 68.36 % holocellulose, 10.96 % moisture, 96.95 % volatile material, 0.85 % ash, 31 % fixed carbon, 27.16 MJKg<sup>-1</sup> in higher calorific value and 23.90 MJKg<sup>-1</sup> for lower calorific value, the above results show that the wood of *B. heterophylla* Kunth is ecologically important and suitable for use as fuelwood. In general, it is recommended to pay attention to secondary forests because they are key in the supply of what is known today as environmental goods and services.

**Key words:** Asteraceae, Chamizo, Ixtlán, Villa Alta, Mixe.

## INTRODUCCIÓN

La regeneración de los bosques constituye la base para la renovación y la continuidad de las especies, lo que la convierte en uno de los procesos más importantes en el ciclo de vida de las plantas (Nathan & Muller-Landau 2000, Wang & Smith 2002). Las especies pioneras tienen un papel principal en este proceso porque son de crecimiento rápido con una distribución natural muy amplia y una alta abundancia (Budowski 1963).

Las especies de la familia Asteraceae presentan estrategias adaptativas a condiciones ambientales extremas como frío, sequía, vientos intensos, radiación solar y temperaturas altas, tienen diferentes formas de crecimiento, variabilidad morfológica y una amplia distribución (Villaseñor *et al.* 1998, Katinas *et al.* 2007, Del Vitto & Petenatti 2009), por tanto, tienen importancia ecológica en los bosques secundarios por ser pioneras en la regeneración, destacan los géneros *Acmella*, *Baccharis*, *Roldana* y *Verbesina* que facilitan el establecimiento de otras especies al promover la maduración de los suelos (Katinas *et al.* 2007, Martínez-Arévalo 2014, Olascuaga-Vargas *et al.* 2015).

Las especies del género *Baccharis* (Asteraceae) generalmente son arbustos, que miden en promedio de 0,5 a 4,0 m de altura (Verdi *et al.* 2005, Lemos *et al.* 2007). Son utilizadas de manera tradicional como plantas medicinales para el tratamiento de varias dolencias, como contusiones, inflamaciones, también como antibiótico y desinfectante, de ellas, también se han obtenido aceites esenciales, estas propiedades se deben a su composición química (Verdi *et al.* 2005, Abad & Bermejo 2007). En el

género se incluye, *Baccharis heterophylla* Kunth, una especie que tiene un valor y desempeño ecológico para la regeneración de los bosques de la Sierra Juárez de Oaxaca.

El estudio de las características anatómicas de la madera, así como el de propiedades químicas y energéticas, de especies con importancia ecológica, aparte del beneficio científico que lo rodea, son ideales para conocer sus usos apropiados en diferentes áreas forestales (Chila *et al.* 2020). La composición química se expresa básicamente en el contenido de extractivos, ceniza, holocelulosa, lignina y microelementos que varían según el clima, la localización geográfica, y por las condiciones del suelo en donde se distribuyen las especies (Honorato & Hernández 1998).

En el caso de las propiedades energéticas, el poder calorífico, es una de las variables más estudiadas para evaluar el potencial energético de la madera de diversos grupos taxonómicos (Shanavas & Kumar 2003, Nirmal *et al.* 2011); asimismo, otras propiedades como la densidad, los contenidos de humedad, cenizas, material volátil y carbono fijo tienen que considerarse para evaluar y determinar la idoneidad de una madera para su uso como combustible (Nirmal *et al.* 2011). Para los estudios anatómicos se necesitan tres planos de corte, transversal, radial y tangencial (Agila *et al.* 2018). La madera presenta características organolépticas que pueden ser percibidas mediante la vista, el olfato, el tacto y el gusto, tales como: color, olor, sabor, grano, brillo, textura, veteado. Respecto a las características microscópicas, las maderas de latifoliadas presentan mayor heterogeneidad en cuanto a tipo, proporción y

distribución de los tejidos xilemáticos en comparación con las coníferas ya que tienen elementos de vaso, parénquima, radios y fibras (León 2015). En este caso, los vasos conducen agua y minerales, las fibras ejercen funciones de sostén y las células parenquimáticas actúan como elementos de reserva, según la disposición de los vasos y demás elementos, los anillos de crecimiento son visibles o no, es decir, no siempre es posible ver anillos en la madera de las latifoliadas (Guarnaschelli & Garau, 2009).

El objetivo de la presente investigación fue integrar el estudio de la anatomía, composición química y características energéticas de la madera de *Baccharis heterophylla*, una especie pionera de bosques secundarios distribuida en la Sierra Juárez de Oaxaca.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

La Sierra Juárez o también conocida como la Sierra es una de las ocho regiones económicas en las que oficialmente se divide el estado de Oaxaca y abarca tres distritos político-administrativos: Ixtlán de Juárez, Villa Alta y Mixe (Fernández & Salinas 2012, Fig. 1). Además, ha sido reconocida como una de las regiones prioritarias para la conservación biológica de México (Arriaga *et al.* 2000). Es una de las zonas más elevadas de la orografía de Oaxaca, abarca una superficie de 8972,39 km<sup>2</sup>. Su topografía se forma con un gradiente altitudinal que va de los 100 hasta los 3300 msnm. Cuenta con diversos tipos de climas como los de tipo cálido húmedo (Am), semicálido seco (Bso), templado húmedo C(fm) y semifrío subhúmedo C(E). Los rangos de precipitación van de 430 a 4500 mm anuales y temperatura en un intervalo de 15 a 27° C (Suárez-Mota *et al.* 2025).

### Anatomía, composición química y características energéticas de *Baccharis heterophylla* Kunth

Se obtuvieron muestras de *B. heterophylla* (Fig. 2) en tres localidades de fácil acceso con diferente altitud dentro del Distrito de Ixtlán: A) Santa Catarina Ixtepeji (2707 m), B) Ixtlán de Juárez (1953 m) y C) Santiago Laxopa (2478 m), su tipo de vegetación corresponde a bosques secundarios de Pino-Encino. El material se obtuvo de tres ejemplares sanos y con características similares en diámetro y altura por cada sitio de muestreo.

### Anatomía de la madera

Se obtuvieron cubos de dos cm por lado. Las características organolépticas se describieron según Agila *et al.* (2018). Para determinar el color de las muestras de madera se utilizó la tabla de Munsell (1952). Los bloques de madera se procesaron utilizando las técnicas descritas por Guridi & García (2000), la abundancia de los elementos estructurales se estimó con observaciones en un microscopio óptico marca ZEIGEN® con reglilla milimétrica incluida en el ocular y objetivo de 10x. Las mediciones se utilizaron para determinar los valores mínimos, máximo, media, moda y desviación estándar y se describieron de acuerdo con las recomendaciones de la Asociación Internacional de Anatomistas de la Madera (IAWA 1989).

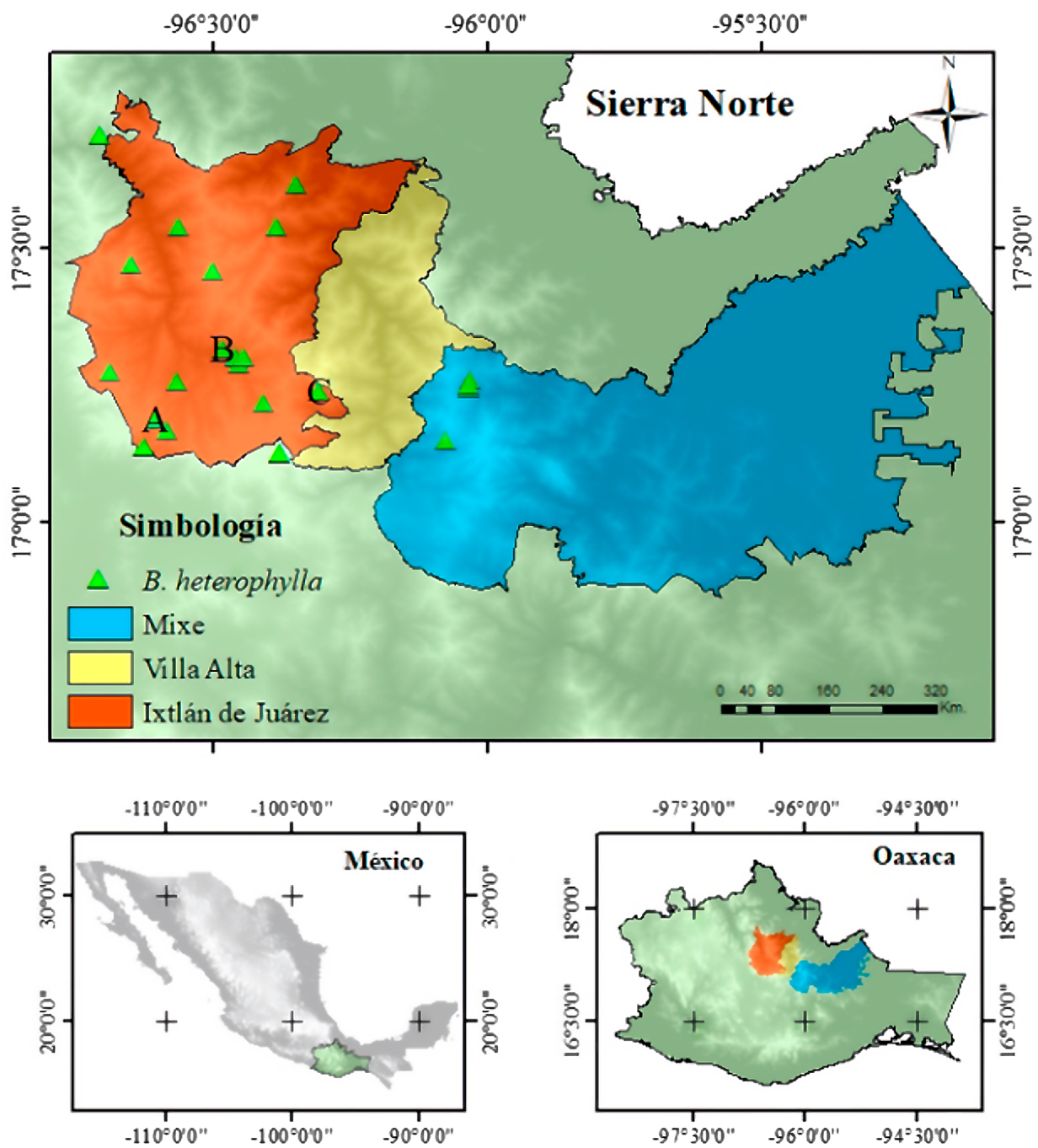
### Composición química

Los análisis químicos se realizaron a partir de astillas de madera que fueron molidas y secadas a temperatura ambiente, cabe señalar que fue una mezcla de duramen y albura de la especie, es decir, no se tomó en cuenta la corteza. Posteriormente el material fue pasado por un tamiz del número 60 (250 µm).

La obtención de extractivos se realizó siguiendo el procedimiento de la norma ASTM D 1105-96 (ASTM 2013) que consiste en separar los materiales solubles que generalmente no se consideran parte de la estructura polimérica de la madera. Para cada arbusto se hicieron tres repeticiones. Las muestras obtenidas anteriormente se utilizaron para la extracción de lignina y holocelulosa.

Para determinar la cantidad de Lignina Klason (LK) se usó el procedimiento de la norma ASTM D 1106-96 (ASTM, 2007a). Para cuantificar el contenido de holocelulosa se siguió el procedimiento basado en lo establecido por Rowell *et al.* (2005).

Las cenizas se obtuvieron mediante el método de la ASTM D 1762-84 (ASTM 2007b). El análisis elemental se llevó a cabo empleando la técnica semicuantitativa con un equipo de Plasma Acoplado Inductivamente con detector de Masas (ICP-MS por sus siglas en inglés), marca: Agilent Technologies, modelo: 7900 System®. En la determinación de las características energéticas de la madera, se siguió el método de la ASTM D 1762-84 (ASTM 2007b). El Poder calorífico superior e inferior se realizó mediante la norma ASTM E711-87 (ASTM 2004).



**FIGURA 1.** Ubicación geográfica de la Sierra Juárez de Oaxaca y las localidades donde se colectaron ejemplares de *Baccharis heterophylla* Kunth. A) Santa Catarina Ixtepeji, B) Ixtlán de Juárez y C) Santiago Laxopa. / Geographic location of the Sierra Juárez of Oaxaca and the localities where specimens of *Baccharis heterophylla* Kunth were collected. A) Santa Catarina Ixtepeji, B) Ixtlán de Juárez and C) Santiago Laxopa.



**FIGURA 2.** *Baccharis heterophylla* Kunth. a) hoja, b) cabezuela con involucro acampanado, c) vilano y d) aquenio. / *Baccharis heterophylla* Kunth. a) leaf, b) head with bell-shaped involucre, c) pappus and d) achene.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización anatómica, química y energética de *Baccharis heterophylla*

El color de la madera va de amarillo muy pálido a pálido de acuerdo al factor (Hue White Page) 2.5 y 8.5/2 (Munsell 1952), no presenta olor ni sabor, hilo recto a ligeramente inclinado, brillo alto en cara radial y medio en cara tangencial y el veteado es suave con textura de fina a media (Fig. 3A-C).

### Descripción macroscópica y microscópica

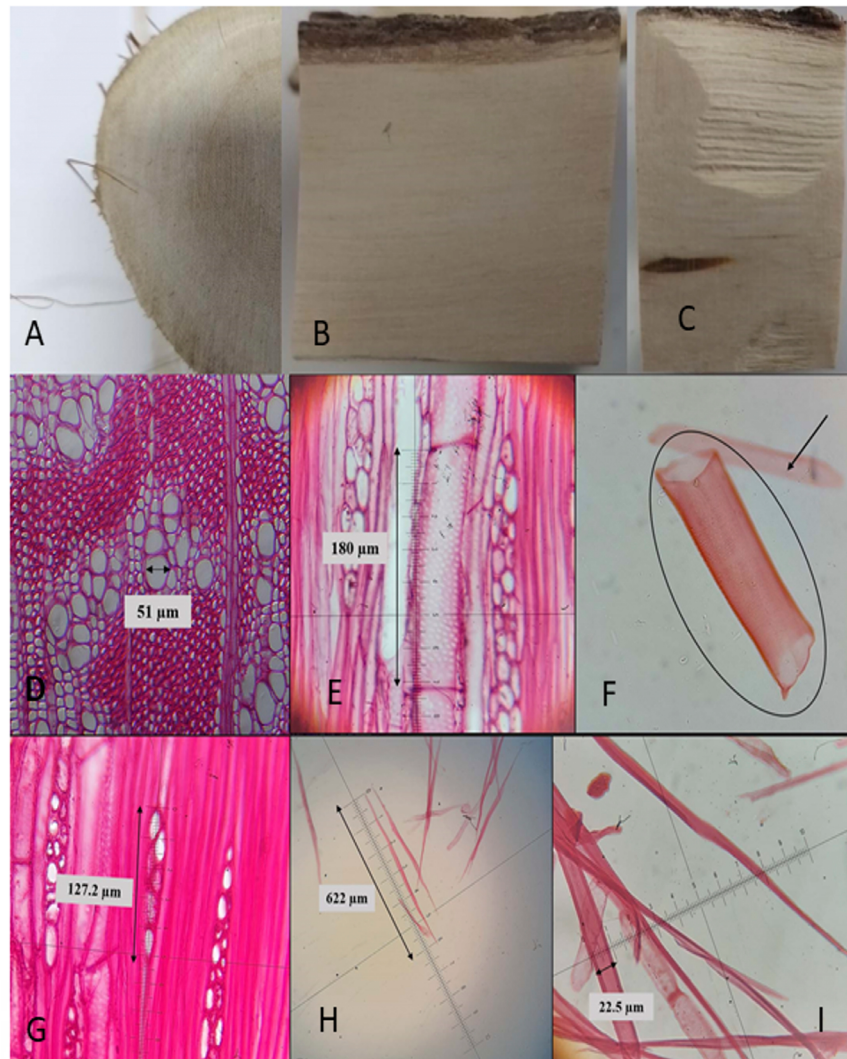
Las zonas de crecimiento no son notorias. La porosidad es difusa heterogénea, los poros no son visibles a simple vista, sin embargo, se observaron con una lupa estereoscópica marca Motic SMZ-17, tienen forma circular a ovoides, sin presencia de tálides, y su diámetro tangencial varía entre sitios, de 30,6 a 66,3  $\mu\text{m}$ , (Fig. 3A y 4a), los valores más altos se presentaron en las muestras obtenidas en Ixtlán, los poros son abundantes, presentan arreglos solitarios, múltiples radiales de 2 a 13 y agrupados de 3 a 18. La placa perforada es simple

de forma circular a elíptica con platina inclinada y escasamente se presentan lígulas en los elementos de vaso; los elementos de vaso presentan puntuaciones areoladas, alternas y escaleriformes, con contornos irregulares y aberturas elípticas, los elementos de vaso son muy cortos de 112,5 – 232,5  $\mu\text{m}$  de longitud en los sitios (Figs. 3E, 3F y 4a). En el sitio de Laxopa se tienen los valores más bajos con un promedio de 159,91  $\mu\text{m}$ . El parénquima leñoso se observa al microscopio y es de tipo paratraqueal (p) escaso, p. vasicéntrico y p. en bandas cortas. Los radios se observan con ayuda de lupa, al microscopio se distingue que son pocos, entre sitios no hay diferencia significativa ya que presentan entre tres y cinco por mm (Fig. 4b), de constitución heterogénea y de tipo uniseriado, parcialmente biseriado, biseriados y triseriados. En los tres sitios se encontró que son cortos entre 84-381  $\mu\text{m}$  en altura y 10-42,5  $\mu\text{m}$  de ancho. Los valores mencionados no presentan variaciones significativas entre ellos, aún así, la muestra de Ixtepeji tiene los radios más pequeños, en un promedio de alturas de 216,24  $\mu\text{m}$  y de ancho 16,58  $\mu\text{m}$  (Figs. 3G y 4c). Las fibras son libriformes, moderadamente cortas, sobre

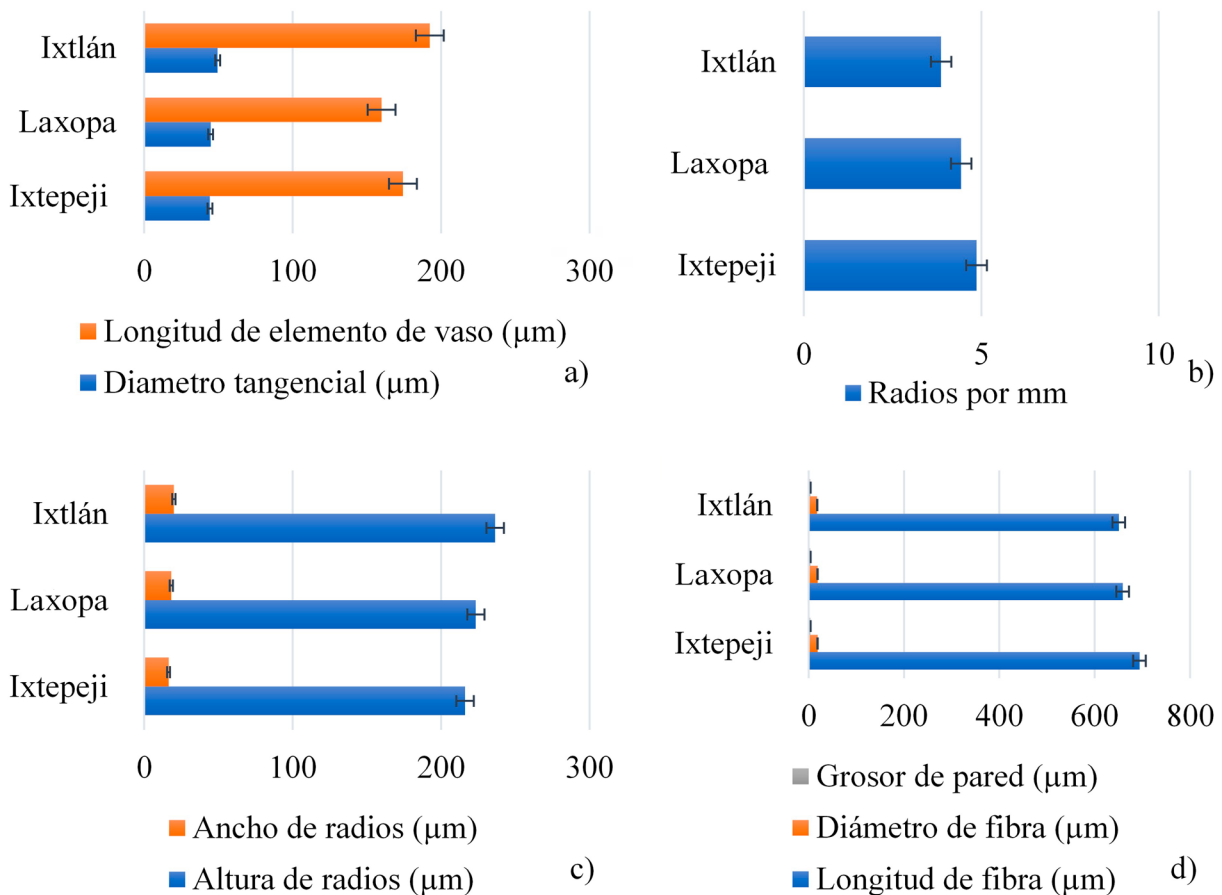
la longitud, Ixtepeji presenta el valor más alto con 693,94  $\mu\text{m}$ , para el diámetro en los tres sitios oscila entre 17 y 18  $\mu\text{m}$  en promedio, así mismo con el grosor de pared con un promedio de 3,7  $\mu\text{m}$  (Figs. 3H-I y 4d).

Grande-Pulido & Polanco-Tapia (2007) caracterizaron especies de *Baccharis* en los bosques andinos de Colombia y su descripción macroscópica y microscópica coincide con los resultados obtenidos en este trabajo. Respecto a las características organolépticas solo varía

en el color (Fig. 3), pero se sabe que este puede variar de un individuo a otro. La madera presenta hilo recto a ligeramente inclinado lo cual demuestra que es una madera que no puede tener un uso en la construcción, Rebollar & Quintanar (2000) explican que un hilo entrecruzado aumenta las propiedades de resistencia mecánica y son adecuadas para la construcción u otros usos en la industria.



**FIGURA 3.** Material usado para la descripción de las características organolépticas. A) rodaja con corte transversal, B) cara radial y C) tablilla donde se muestran los tipos de hilo (cara radial), D) vista de poros en corte transversal (10x), E) longitud de los elementos de vaso (40x), F) elementos de vaso en material disociado (40x), G) altura de radios (40x), H) longitud de fibras (10x) e I) diámetro de fibras en material disociado (40x) de la especie *Baccharis heterophylla* encontrada en el sitio de Ixtepeji. / Material used for the description of organoleptic characteristics. A) slice with cross-section, B) radial face and C) tablet showing the types of thread (radial face), D) view of pores in cross-section (10x), E) length of vessel elements (40x), F) vessel elements in dissociated material (40x), G) height of radii (40x), H) length of fibers (10x) and I) diameter of fibers in dissociated material (40x) of the species *Baccharis heterophylla* found at the Ixtepeji site.



**FIGURA 4.** Valores promedio para las características anatómicas de *Baccharis heterophylla*: a) poros y vasos, b) y c) radios, d) fibras. / Average values for the anatomical characteristics of *Baccharis heterophylla*: a) pores and vessels, b) and c) rays, d) fibers.

De acuerdo con las características macroscópicas y microscópicas de *B. heterophylla* se pudo observar que su porosidad es difusa y heterogénea (Fig. 3), la cual Moglia & Giménez (1998) la consideran como una ventaja para transportar la escasa cantidad de agua existente en sus hábitats. Los poros son de tamaño pequeño con un promedio de 46,308  $\mu\text{m}$  de diámetro tangencial, Montañón-Arias *et al.* (2013) indican que estas características del xilema se deben por presentar resistencia al estrés hídrico por lo que es posible que ocurra algo similar en el caso de *B. heterophylla*. La placa perforada es simple de forma circular a elíptica con platina inclinada y los elementos de vaso son muy cortos con 176,1  $\mu\text{m}$  de longitud (Fig. 4a), estas características han sido asociadas a especies que se

desarrollan en ambientes secos (Moglia & Giménez 1998). Novaes *et al.* (2010) mencionan que existe una relación directa entre la altura de los radios y la disponibilidad de agua en el sitio, de modo que los radios bajos implican que, existe poca disponibilidad de agua. La longitud de las fibras es importante en las propiedades de resistencia (Araiza & Quiñones 2000), por tanto, la especie no cumple adecuadamente con esa propiedad ya que sus fibras son libriformes y moderadamente cortas con 674,01  $\mu\text{m}$ . Si bien, los factores ambientales que influyen sobre la anatomía de la madera son la altitud, la latitud y el clima, para este análisis no se mostraron diferencias debidas a la altitud.

Composición química de la madera

Para extractivos, en Laxopa se obtuvo el valor más bajo (7,56 %), mientras que la lignina y holocelulosa, tienen el valor más alto en Ixtepeji (24,32 % y 69,95 % respectivamente; Tabla 1). En cuanto a la ceniza se obtuvo que los elementos con mayor concentración fueron azufre y calcio con 11,70 mg/g y 0,55 mg/g respectivamente, contrario a ello, los valores más bajos se encontraron en cobalto 19,59 ng/g (Tabla 2).

En relación con la composición química, *B. heterophylla* presenta valores de 7 a 8 % de extractivos los cuales concuerdan con un estudio de Arreguine (1918) sobre la contribución al estudio de *B. cordifolia* (D.C) donde muestra un promedio de extractivos de 6,38 %. Los valores

que se reportan en este estudio de lignina van desde 21 a 25 % lo que coincide con los intervalos establecidos para latifoliadas (Tsoumis 1991), además Verdecia *et al.* (2018) señalan valores de 24,1 % que corresponden a una planta subarborescente *Tithonia diversifolia* (Hemsl.) A. Gray de la familia Asteraceae. Sin embargo, por el contenido bajo de lignina, se puede explicar que tiene bajos valores de densidad y resistencia mecánica (Téllez-Sánchez *et al.* 2009). Respecto a holocelulosa, se tiene en promedio 68,36 % los cuales corresponden a los indicadores establecidos que son mayores de 60 % y son más elevados en maderas duras (latifoliadas). Los valores de la composición química presentan una variación reducida en los tres sitios estudiados (Tabla 1).

**TABLA 1.** Valores de la composición química de *Baccharis heterophylla* de tres sitios de muestreo a diferente altitud. / Chemical composition values of *Baccharis heterophylla* from three sampling sites at different altitudes.

| Sitio                   | Extractivos % | Lignina % | Holocelulosa % |
|-------------------------|---------------|-----------|----------------|
| Santa Catarina Ixtepeji | 8,37          | 24,32     | 69,95          |
| Santiago Laxopa         | 7,56          | 21,22     | 66,15          |
| Ixtlán de Juárez        | 8,17          | 22,03     | 69,00          |

**TABLA 2.** Elementos químicos y concentración identificados en la madera de *Baccharis heterophylla*. / Chemical elements and concentration identified in the wood of *Baccharis heterophylla*.

| Elemento  | Concentración | Unidades |
|-----------|---------------|----------|
| Azufre    | 11,7          | mg/g     |
| Calcio    | 0,55          | mg/g     |
| Potasio   | 225,53        | µg/g     |
| Fósforo   | 144,01        | µg/g     |
| Sodio     | 131,42        | µg/g     |
| Magnesio  | 107,9         | µg/g     |
| Hierro    | 35,69         | µg/g     |
| Zinc      | 25,84         | µg/g     |
| Boro      | 11,32         | µg/g     |
| Manganeso | 5,47          | µg/g     |
| Cromo     | 0,76          | µg/g     |
| Plomo     | 0,43          | µg/g     |
| Cadmio    | 34,44         | ng/g     |
| Cobalto   | 19,59         | ng/g     |

En el análisis cuantitativo de la ceniza de *Baccharis heterophylla*, los elementos que se encuentran con mayor concentración son azufre, calcio, potasio, fósforo, sodio y magnesio (Tabla 2). El calcio y el magnesio son reportados como elementos químicos más abundantes en la madera (Feldman 1985), lo que se corrobora en el presente estudio. Se detectaron cinco elementos (magnesio, fósforo, azufre, potasio y calcio) de los siete que son conocidos como macronutrientes y que los vegetales requieren para su completo crecimiento (Gil 1995). Cabe señalar que el contenido de cenizas varía respecto a sus hojas, tallo, raíz, otros factores son las condiciones del suelo y la edad que influyen en los contenidos de sustancias minerales (Carballo 1990). Los datos obtenidos pueden sustentarse con estudios previos como el de Serrano et al. (2018) quienes encontraron valores promedio del 7 % para *B. salicifolia* (Ruíz & Pav.), por otra parte, Moreta (2014) reporta un valor de 34.86 % de humedad en *B. latifolia*. Jiménez (2021) analizó *Montanoa leucantha* (Lag. & Segura) S.F. Blake y presentó un valor máximo de 9.02 % de contenido de humedad. Para material volátil se tiene en promedio 96.75 %, se puede observar que es un valor alto y coincide con lo reportado por Moreta (2014).

El carbón fijo es la masa de materia orgánica restante que queda después de que se libera el material volátil y la humedad y se le considera el componente de mayor importancia energética que genera una estructura cristalina (Bustamante-García et al. 2013). *B. heterophylla* tiene un promedio de 2,31 %. Las cenizas son residuos sólidos inorgánicos generados en la oxidación completa de la biomasa a altas temperaturas, están compuestas de silicatos, carbonatos, sulfatos y otros minerales (Bustamante-García et al. 2013), se tiene un 0,85 % en promedio de cenizas en los tres sitios, por tanto, a medida que su valor disminuye se garantiza que la biomasa será

convertida eficientemente en combustible (Lee-Carter 2012).

### Características energéticas

En la evaluación de las características energéticas de *B. heterophylla* se registró un valor promedio de humedad de 10,96 % (Tabla 3) que son altos en comparación con los obtenidos para *B. salicifolia* (Serrano et al. 2018). Moreta (2014) reporta un valor del 34,86 % de humedad en *B. latifolia*. Para material volátil se tiene en promedio 96,75 %, se puede observar que es un valor alto y coincide con lo reportado por Moreta (2014). Datos similares se han registrado en *Montanoa leucantha* (Jiménez 2021). Bustamante-García et al. (2013) mencionan que un alto porcentaje de compuestos volátiles incrementan el rendimiento y el poder calorífico. El carbón fijo es la masa de materia orgánica restante que queda después de que se libera el material volátil y la humedad y se le considera el componente de mayor importancia energética que genera una estructura cristalina (Bustamante-García et al. 2013). *B. heterophylla* tiene un promedio de 2,31 %.

Los valores de cantidad de humedad, material volátil, cenizas y carbono fijo de *B. heterophylla* procedentes de los tres sitios tienen en promedio de 10,96 % de humedad, 96,82 % de material volátil, 0,85 % de cenizas y finalmente 2,31 % de carbono fijo. El poder calorífico superior (PCS) y poder calorífico inferior (PCI) el promedio de PCS es de 27,16 MJKg<sup>-1</sup> y para el PCI es de 23,90 MJKg<sup>-1</sup> (Tabla 3).

Finalmente, respecto al poder calorífico superior, *B. heterophylla* presentó diferencias significativas entre los sitios (Tabla 3), muestra un promedio de 27,16 MJKg<sup>-1</sup>, Chavarría & Reyes (2009) registran un valor de 20,22 MJKg<sup>-1</sup> de poder calorífico superior para *B. tricuneata* L.f. Pers. Jiménez (2021) presentó un valor máximo de 20,80 MJKg<sup>-1</sup> para *Montanoa leucantha*, en tanto que

**TABLA 3.** Valores de las propiedades energéticas y poder calorífico superior (PCS) e inferior (PCI) de *Baccharis heterophylla*. / Values of the energy properties and higher (HHV) and lower (LHV) heating value of *Baccharis heterophylla*.

| Sitio                   | Humedad (%) | Material volátil (%) | Ceniza (%) | Carbono fijo | PCS (MJKg <sup>-1</sup> ) | PCI (MJKg <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------|-------------|----------------------|------------|--------------|---------------------------|---------------------------|
| Santa Catarina Ixtepeji | 10,37       | 96,69                | 0,94       | 2,26         | 31,16                     | 27,11                     |
| Santiago Laxopa         | 10,35       | 96,79                | 0,81       | 2,44         | 37,55                     | 33,55                     |
| Ixtlán de Juárez        | 12,16       | 96,99                | 0,81       | 2,24         | 28,23                     | 25,42                     |

Cruz-Montelongo *et al.* (2020) indican un valor más alto con 27,669 MJkg<sup>-1</sup> con una especie de mezquite. De acuerdo con la clasificación propuesta por Rivera-Inga & Uceda-Castillo (1987), especies con poder calorífico superior menores a 33,49 MJkg<sup>-1</sup> pueden ser utilizables como combustibles con buenas cualidades y según Heya *et al.* (2014), valores de PCS entre 29,0 y 35,0 MJkg<sup>-1</sup> representan fuentes importantes de energía. Brea *et al.* (2014) ratifica que *Baccharis* sp. es un arbusto común del ámbito serrano, que se utiliza en la actualidad como material de combustión debido a que tiene un alto poder calorífico.

### CONCLUSIÓN

La importancia de identificar características físicas, químicas y anatómicas de *Baccharis heterophylla* es primordial para aprovechar de manera adecuada esta especie forestal. Las características químicas y anatómicas de la madera de *B. heterophylla* no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre las tres localidades evaluadas. Presentan una porosidad difusa homogénea, en promedio, tienen un diámetro tangencial de 46.30 µm, una longitud de los elementos de vaso de 176.1 µm, altura de los radios de 223.6 µm y longitud de las fibras de 674.01 µm.

Su composición química se basa en un promedio de 8.03 % extractivos, 22.52% lignina y 68.36% holocelulosa. Las características energéticas registraron un contenido de humedad de 10.96%, 96.95% de material volátil, 0.85% de cenizas y 2.31% de carbono fijo. Por su parte, el poder calorífico superior (PCS) y el poder calorífico inferior (PCI) se situaron en 27.16 MJkg<sup>-1</sup> y 23.90 MJkg<sup>-1</sup> respectivamente.

Los datos evaluados demuestran la relevancia ecológica de *B. heterophylla* en los bosques secundarios y su óptima aptitud para el uso como biocombustible, a lo que se suma su relevancia etnobotánica en la Sierra Juárez de Oaxaca como especie de uso medicinal.

### AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a los revisores anónimos por su tiempo y contribución realizadas.

### REFERENCIAS

- Abad, M.J., Bermejo, P. 2007. *Baccharis* (Compositae): a review update. *Arkivoc* 7(7): 76-96. <https://doi.org/10.3998/ark.5550190.0008.709>
- Agila, S., Burneo, A., Narvaes, L., Pucha-Cofrep, D. 2018. Propiedades físicas y características anatómicas de la madera de tres especies de Guayacán al sur de Ecuador. *Bosques Latitud Cero* 8(2): 1-15.
- Araiza, J.C., Quiñones, J.G.R. 2000. La madera de *Casuarina equisetifolia* L., química e índices de calidad de pulpa. *Madera y Bosques* 6(1): 29-40. <https://doi.org/10.21829/myb.2000.611340>
- Arreguine, V. 1918. Contribución al estudio del *Baccharis Cordifolia* (D. C.). Tesis Doctorado. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. 89 p. [http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis\\_0119\\_Arreguine.pdf](http://digital.bl.fcen.uba.ar/Download/Tesis/Tesis_0119_Arreguine.pdf)
- Arriaga, L., Espinoza, J.M., Aguilar, C., Martínez, E., Gómez, L., Loa, E. 2000. Regiones terrestres prioritarias de México. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Ciudad de México, México. 609 pp.
- ASTM. 2004. Standard Test Method for Gross Calorific Value of Refuse-Derived Fuel by the Bomb Calorimeter (Withdrawn 2004). American Standard Test Methods, West Conshohocken, USA.
- ASTM. 2007a. Standard Test Method for Acid-Insoluble Lignin in Wood. American Standard Test Methods, West Conshohocken, USA.
- ASTM. 2007b. Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcoal. American Standard Test Methods, West Conshohocken, USA.
- ASTM. 2013. Standard Test Method for Preparation of Extractive-Free Wood. American Standard Test Methods, West Conshohocken, USA.
- Brea, M., Mazzanti, D., Martínez, G.A. 2014. Selección y uso de los recursos madereros en cazadores-recolectores de la transición Pleistoceno-Holoceno y Holoceno medio, sierras de Tandilia oriental, Argentina. *Rev. Mu. Arg. de Cien. Nat.* 16(2): 129-141.
- Budowski, G. 1963. Forest succession in tropical lowlands. *Turrialba* 13(1): 42-44.
- Bustamante-García, V., Carrillo-Parra, A., González-Rodríguez, H., Ramírez-Lozano, R.G., Corral-Rivas, J.J., Garza-Ocañas, F. 2013. Evaluation of a charcoal production process from forest residues of *Quercus sideroxyla* Humb., & Bonpl. in a Brazilian beehive kiln. *Industrial Crops and Products* 42: 169-174. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.04.034>

- Carballo, L.R. 1990. The influence of chemical composition and age of Caribea pine Wood (*Pinus caribea*) on the physical and mechanical properties as well as on yield of sulfite pulp. Tesis. Facultad de Tecnología de la Madera, Colegio Universitario de Silvicultura y Tecnología de la Madera en Zvolen, República Eslovaca.
- Chavarria, K.R., Reyes, R. 2009. Determinaciones Dendroenergéticas de Cuatro Especies de Mayor Consumo de la Zona Yauli - La Oroya. Tesis. Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo, Perú.
- Chila, T.J.C., Salazar, C.E.P., Espinoza, V.M. 2020. Descripción organoléptica y anatómica de la madera de cinco especies forestales del sector Tabiazo, Esmeraldas, Ecuador. *Conciencia Digital* 3(3): 164-177. <https://doi.org/10.33262/concienciadigital.v3i3.1288>
- Cruz-Montelongo, C.D.L., Herrera-Gamboa, J., Ortiz-Sánchez, I.A., Ríos-Saucedo, J.C., Rosales-Serna, R., Carrillo-Parra, A. 2020. Caracterización energética del carbón vegetal producido en el Norte-Centro de México. *Madera y Bosques* 26(2): 1-13. <https://doi.org/10.21829/myb.2020.2621971>
- Del Vitto, L.A., Petenatti, E.M. 2009. Asteráceas de importancia económica y ambiental. Primera parte. Sinopsis morfológica y taxonómica, importancia ecológica y plantas de interés industrial. *Multequina* 18: 87-115.
- Feldman, D. 1985. Wood—chemistry, ultrastructure, reactions, by D. Fengel and G. Wegener, Walter de Gruyter, Berlin and New York, 1984, 613 pp. Price: 245 DM. *Journal of Polymer Science: Polymer Letters Edition* 23: 601-602. <https://doi.org/10.1002/pol.1985.130231112>
- Fernández, M., Salinas, J. 2012. La Defensa de los Derechos Territoriales desde las Comunidades Locales en Chile y Latinoamérica: Experiencias y Lecciones. RIL Editores, Santiago de Chile. 507 pp.
- Gil, M.F. 1995. Elementos de fisiología vegetal. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España. 1147 p.
- Grande-Pulido, D.C., Polanco-Tapia, C. 2007. Descripción anatómica de la madera de cuarenta especies del Bosque Alto-Andino en Guasca, Cundinamarca. *Colombia Forestal* 10(20): 180-206.
- Guarnaschelli, A., Garau, A. 2009. Árboles. Ed. Albatros, Buenos Aires, Argentina.
- Guridi, L., García, T. 2000. Estudio anatómico de la madera de aguacate (*Persea americana* Mill). *Ciencia y Tecnología de la Madera* 2(5): 3-20.
- Heya, M.N., Pournavab, F.R., Carrillo-Parra, A., Colin-Urieta, S. 2014. Bioenergy potential of shrub from native species of northeastern Mexico. *International Journal of Agricultural Policy and Research* 2(12): 475-483. <https://doi.org/10.15739/IJAPR.020>
- Honorato, S.J.A., Hernández, P.J. 1998. Determinación de componentes químicos de la madera de cinco especies de encino del estado de Puebla. *Madera y Bosques* 4(2): 79-93. <https://doi.org/10.21829/myb.1998.421361>
- IAWA. 1989. List of microscopic features for hardwood identification. *IAWA Bulletin New Series* 10(3): 219-332.
- Jiménez, M.E. 2021. Uso de la biomasa con fines bioenergéticos en la comunidad de San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca. Tesis. Universidad de la Sierra Juárez, Ixtlán de Juárez, Oaxaca, México. 56 pp.
- Katinas, L., Gutiérrez, D.G., Grossi, M.A., Crisci, J.V. 2007. Panorama de la familia Asteraceae (Compositae) en la República Argentina. *Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica* 42(1): 113-129.
- Lee-Carter, C. 2012. Physicochemical properties and thermal decomposition of torrefied woody biomass and energy crop. Tesis. Facultad de Auburn, Universidad de Auburn Alabama, Alabama, USA. 188 p.
- Lemos, M., Barros, M.P., Souza, J.P., Silva-Filho, A.A., Bastos, J.K., Andrade, S.F. 2007. *Baccharis dracunculifolia*, the main botanical source of Brazilian green propolis, displays antiulcer activity. *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 59(4): 603-608. <https://doi.org/10.1211/jpp.59.4.0017>
- León, W. 2015. Anatomía de la madera de 87 especies de la reserva forestal Ticoporo (Barinas, Venezuela). *Pitteria* 39: 107-169.
- Martínez-Arevalo, J.V. 2014. Sucesión vegetal en bordes de bosques de Pinabete (*Abies guatemalensis* Rehder) del occidente de Guatemala. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(23): 64-77. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v5i23.342>
- Moglia, G., Giménez, A. 1998. Rasgos anatómicos característicos del hidrosistema de las principales especies arbóreas de la región chaqueña Argentina. *Forest Systems* 7: 53-71.
- Montaño-Arias, S.A., Camargo-Ricalde, S.L., Pérez-Olvera, C.D. 2013. Ecoanatomía de los elementos de vaso de la madera de cinco especies del género *Mimosa* (Leguminosae-Mimosoideae). *Botanical Sciences* 91(1): 1-10.
- Moreta, R.F. 2014. Aplicación de modelos matemáticos para la cuantificación y logística de la biomasa disponible en chilca (*Baccharis latifolia*). Tesis. Facultad de Ciencias Pecuarias, Universidad Técnica de Ambato, Ecuador.
- Munsell. 1952. Munsell color chart for plant tissues. Baltimore, USA. 19 pp.

- Nathan, R., Muller-Landau, H.C. 2000. Spatial patterns of seed dispersal, their determinants and consequences for recruitment. *Trends Ecology & Evolution* 15: 278-285.
- Nirmal, J.I., Patel, K., Kumar, R.N., Kumar, R. 2011. An evaluation of fuelwood properties of some Aravally mountain tree and shrub species of Western India. *Biomass Bioenergy* 35(1): 411-414.
- Novaes, F.D.S., Callado, C.H., Pereira-Moura, M.V.L., Lima, H.R. 2010. Wood anatomy of *Mollinedia glabra* (Spreng.) Perkins (Monimiaceae) in two restinga vegetation formations at Rio das Ostras, RJ, Brazil. *Academia Brasileira de Ciências* 82(4): 915-924. <https://doi.org/10.1590/S0001-37652010000400014>
- Olascuaga-Vargas, D., Mercado-Gómez, J., Sánchez-Montaño, L.R. 2015. Análisis de la vegetación sucesional en un fragmento de bosque seco tropical en Toluviejo-Sucre (Colombia). *Colombia Forestal* 19: 23-40. <https://doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2016.1.a02>
- Rebollar, S., Quintanar, A. 2000. Anatomía y usos de la madera de siete árboles tropicales de México. *Revista de Biología Tropical* 48(2-3): 569-578.
- Rivera-Inga, P., Uceda-Castillo, M. 1987. Características físico-químicas de la madera y carbón de once especies forestales de la Amazonia Peruana. *Revista Forestal del Perú* 14(2): 1-8.
- Rowell, R.M., Pettersen, R., Han, J.S., Rowell, J.S., Tshabalala, M.A. 2005. Cell wall chemistry. In: Rowell, R.M. (Ed.) *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*: 33-74. CRC Press, Boca Raton, Florida.
- Serrano, M.T., Rangel, T.L., Camacho, E.B.C. 2018. Contribución al estudio químico-farmacológico de la especie *Baccharis salicifolia* (Ruíz & Pav.) Pers. (Jarilla de Castilla) de la localidad de San Antonio Matlahuacales, Chignahuapan, Puebla. *Revista Digital Innovación en Ciencia, Tecnología y Educación* 2(2): 225-230.
- Shanavas, A., Kumar, B.M. 2003. Fuelwood characteristics of tree species in homegardens of Kerala, India. *Agroforestry Systems* 58: 11-24.
- Suárez-Mota, M.E., Martínez-Martínez, T.E., Ruiz-Aquino, F., Valenzuela-Encinas, C., Gabriel-Parra, R., Santiago-García, W. 2025. Forest fire risk zones delimited with the Normalized Differentiated Burning Radius (DNBR) in the Sierra Norte of Oaxaca, Mexico. *Botanical Sciences* 103(2): 319-332. <https://doi.org/10.17129/botsci.3561>
- Téllez-Sánchez, C., Herrera-Ferreira, M.A., Rutiaga-Quiñonez, J.G. 2009. Anatomía, física y mecánica de la madera de *Andira inermis* (W. Wright) DC. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente* 15(1): 15-21.
- Tsoumis, G. 1991. *Science and technology of Wood: Structure, properties, utilization*. Van Nostrand Reinhold, New York. 491 pp.
- Verdecia, D.M., Herrera, R.S., Ramírez, J.L., Bodas, R., Leonard, I., Giráldez, F.J., Andrés, S., Santana, A., Méndez-Martínez, et al. 2018. Componentes del rendimiento, caracterización química y perfil polifenólico de la *Tithonia diversifolia* en el Valle del Cauto, Cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science* 52(4): 457-471.
- Verdi, L.G., Brighente, I.M.C., Pizzolatti, M.G. 2005. Género *Baccharis* (Asteraceae): Aspectos químicos, económicos y biológicos. *Química Nova* 28(1): 85-94.
- Villaseñor, J.L., Ibarra, G., Ocaña, D. 1998. Strategies for the conservation of Asteraceae in México. *Conservation Biology* 12(5): 1066-1075.
- Wang, B.C., Smith, T.B. 2002. Closing the seed dispersal loop. *Trends in Ecology Evolution* 17(8): 379-386. [https://doi.org/10.1016/S0169-5347\(02\)02541-7](https://doi.org/10.1016/S0169-5347(02)02541-7)