



DOI: 10.29298/rmcf.v14i76.1300

Artículo de Investigación

Aprovechamiento de leña en una comunidad de la Sierra Sur de Oaxaca, México

Use of firewood in a community in the Southern *Sierra* of Oaxaca, Mexico

María Elena Jiménez-Mendoza¹, Faustino Ruiz-Aquino^{1*}, Ciro Aquino-Vásquez¹, Wenceslao Santiago-García¹, Waldo Santiago-Juárez¹, José Guadalupe Rutiaga-Quiñones², Mario Enrique Fuente-Carrasco¹

Fecha de recepción/Reception date: 15 de agosto de 2022

Fecha de aceptación/Acceptance date: 16 de febrero del 2023

¹Instituto de Estudios Ambientales, Universidad de la Sierra Juárez. México.

²Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: ruiz.aquino@unsij.edu.mx

*Corresponding author; e-mail: ruiz.aquino@unsij.edu.mx

Resumen

En diversas comunidades rurales de México, la leña cumple un papel importante como fuente de energía. En función de la zona geográfica, se emplean diferentes especies arbóreas; además, cada localidad ejerce sus propios conocimientos para la recolecta y uso. Este trabajo tuvo como objetivos ubicar taxonómicamente las principales especies forestales utilizadas como leña y analizar su forma de apropiación, uso, manejo y calidad energética en el municipio San Sebastián Coatlán, distrito de Miahuatlán, Oaxaca. Se seleccionaron 45 familias mediante el muestreo de bola de nieve, las que fueron entrevistadas mediante una encuesta semiestructurada. A la madera de las especies identificadas se le determinó la densidad básica y el poder calorífico según las normas de *American Society for Testing and Materials* (ASTM). Los resultados indican que 40 % de los entrevistados utiliza exclusivamente leña, y 60 % usa leña y gas licuado de petróleo (LP). Se registraron doce taxa, las más utilizadas fueron: *Quercus laurina* 22 %, *Q. glaucoides* 18 % y *Q. resinosa* 17 %. La densidad básica de su madera varió de 0.50 a 0.81 g cm⁻³ para *Lippia myriocephala* y *Dodonaea viscosa*, respectivamente. Su poder calorífico fue de 19.53 a 21.06 MJ kg⁻¹ para *Acacia pennatula* y *Dodonaea viscosa*, respectivamente. En conclusión, por su densidad básica, poder calorífico y distribución en la zona de estudio, las especies más utilizadas como leña pertenecen al género *Quercus*.

Palabras clave: Dendroenergía, densidad básica, encinos, energía renovable, leña, poder calorífico superior.

Abstract

In several rural communities in Mexico, wood plays an important role as an energy source. Depending on the geographic area, different tree species are used as fuel, and each locality has its knowledge of collecting and using firewood. This work aims to taxonomically locate the main forest species used as fuelwood and to analyze their appropriation, use, management, and energy quality in *San Sebastián Coatlán, Miahuatlán* municipality, state of *Oaxaca*. Forty-five families were selected and interviewed through a semi-structured survey, using the snowball sampling. The basic density and calorific value of wood of the identified species were determined according to ASTM (*American Society for Testing and Materials*) standards. The results indicate that 40 % of the interviewees use firewood exclusively, and 60 % use firewood and Liquefied Petroleum Gas (LPG). Twelve species were recorded as being used as firewood, the most used species are: *Quercus laurina* 22 %, *Q. glaucoides* 18 % and

Q. resinosa 17 %. The species basic density varied from 0.50 to 0.81 g cm⁻³ for *Lippia myriocephala* and *Dodonaea viscosa*, respectively. Their calorific value was from 19.53 to 21.06 MJ Kg⁻¹ for *Acacia pennatula* and *Dodonaea viscosa*, respectively. In conclusion, due to their basic density, calorific value, and distribution in the study area, the species most used as fuel belong to the genus *Quercus*.

Key words: Wood energy, basic density, oaks, renewable energy, firewood, high heating value.

Introducción

Los combustibles derivados de la biomasa forestal han sido parte de la vida cotidiana del hombre desde que descubrió el fuego. Actualmente, la leña y el carbón vegetal continúan siendo un insumo energético para atender las necesidades humanas y productivas, tanto en los países en desarrollo como en los industrializados. La leña es esencial en las comunidades rurales debido a que satisface necesidades energéticas e incluso cuando surgen nuevas tecnologías, sigue siendo el insumo principal (Guyat *et al.*, 2004; Vázquez *et al.*, 2016).

La demanda creciente de energía implica la utilización persistente de combustibles fósiles como el petróleo y sus derivados; no obstante, su carácter de recurso no renovable y sus niveles altos de emisiones de gases de efecto invernadero, ponen énfasis en las energías renovables. La dendroenergía o energía procedente de combustibles de madera, es un recurso renovable y su uso como combustible no aumenta la concentración de dióxido de carbono (CO₂) en la atmosfera, al mismo nivel de los combustibles fósiles (Pinilla y Hernández, 2010).

En el ámbito mundial, los países con mayor producción de leña en 2020 fueron: India (301 millones de m³), China (157 millones de m³), Brasil (123 millones de m³) y Etiopía (114 millones de m³) (FAO, 2020). En México, la leña representa 5.4 % (449 409 m³r) de la producción forestal maderable. Los principales estados productores en 2018 fueron: Chihuahua (35.6 %), Puebla (13.5 %), Oaxaca (9.8 %) y Durango (9.3 %) (Semarnat, 2021). Sin embargo, en México las cifras registradas de leña son bajas en

relación con lo registrado en otras naciones, si se considera que la leña es uno de los productos maderables más complicados de cuantificar, debido al uso constante que hacen las comunidades para satisfacer sus necesidades de combustible.

El uso de leña debe realizarse de manera sostenible. Por ello, es necesario plantear acciones como implementar programas de combustibles y estufas ahorradoras que se traduzcan en beneficios ecológicos, sociales y de salud. La utilización de estufas mejoradas reduce 44 % el consumo de leña en comparación con el empleo del fogón tradicional (May, 2013; Ruiz-Mercado y Masera, 2015).

La selección de especies arbóreas con potencial energético es necesaria para determinar la calidad del combustible, en la cual tanto el poder calorífico como la densidad básica de la madera son dos de sus indicadores más importantes (Escobar-Ocampo *et al.*, 2009).

Los objetivos del presente estudio fueron identificar los principales taxa forestales que se utilizan como leña en el municipio San Sebastián Coatlán, distrito de Miahuatlán, Oaxaca; analizar la forma de apropiación, su uso y manejo, así como, evaluar su calidad energética.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se realizó en la cabecera municipal de San Sebastián Coatlán, distrito de Miahuatlán, Oaxaca, México. El municipio tiene una superficie total de 19 030 ha, se

encuentra en un intervalo altitudinal de 100 a 2 300 m y la vegetación predominante corresponde a bosque de pino-encino (Monjaraz, 2013).

Los tipos de clima predominantes en la región corresponden al cálido subhúmedo con lluvias en verano (58.92 %); semicálido húmedo con abundantes lluvias en verano (17.82 %); templado subhúmedo con lluvias en verano, más húmedo (14.58 %); semicálido subhúmedo con lluvias en verano (6.01 %); y templado subhúmedo con lluvias en verano, de humedad media (2.67 %) (INEGI, 2008). La cabecera municipal la habita una población total de 1 226 habitantes, de los cuales 585 son hombres y 641 mujeres (Inegi, 2020).

Aplicación de encuesta

La recopilación de datos de campo implicó el diseño y aplicación de una encuesta semiestructurada a una muestra de la población de 45 familias del área de estudio, mediante un muestreo aleatorio no probabilístico, conocido como método bola de nieve, el cual a partir de un núcleo básico de muestra, de pocos casos, que reúne una serie de características de interés para el estudio, se construye progresivamente la muestra; es decir, de un miembro o grupo que sugiere vincularse con otros individuos, y así sucesivamente (Atkinson y Flint, 2001; Bisquerra, 2009; Hernández *et al.*, 2014; López-Roldán y Fachelli, 2015; Rivas, 2017). La aplicación de este tipo de muestreo se justifica ante la imposibilidad de reconocer o localizar la población de interés, debido a que es una comunidad marginal y dispersa geográficamente (INEGI, 2011; Baltar y Gorjup, 2012),

además, es un método que se ha empleado, de manera importante, en trabajos de investigación de tipo cualitativo y exploratorio.

Con base en lo anterior, el muestreo consistió en ubicar a un individuo potencial que utiliza en casa leña para diversas actividades, quien recomendó a otras personas, y así sucesivamente hasta tener una muestra representativa de la población. En las encuestas se recabó información sobre las principales especies arbóreas que se utilizan como combustible, forma de uso y su manejo.

A fin de corroborar si el número de encuestas aplicadas a la población participante era el adecuado, se generó la curva de acumulación de especies señaladas por las familias encuestadas en la comunidad San Sebastián Coatlán.

Colecta de ejemplares e identificación

La colecta botánica de las principales especies forestales registradas en las encuestas se hizo a partir de la localización de cada ejemplar representativo y saludable, de los cuales se obtuvieron muestras de flores, ramas con hojas, frutos y amentos (BCMF, 1996).

La identificación de las especies se realizó en el herbario de la Universidad de la Sierra Juárez. Se utilizó el manual Flora Fanerogámica del Valle de México (Calderón de Rzedowski y Rzedowski, 2005), la revisión del género *Leucaena* en México (Zárate, 1994) y la Flora del Bajío (Rzedowski y Calderón de Rzedowski, 2002; Andrade *et al.*, 2007). Los ejemplares de encino se identificaron utilizando diferentes manuales (González, 1986; Romero *et al.*, 2002; Zavaleta, 2003).

Densidad básica de la madera

Para determinar la densidad básica de la madera, se siguió la metodología de la ASTM D143-94 (ASTM, 2007) bajo la ecuación siguiente:

$$Db = \frac{P_o}{V_v} \quad (1)$$

Donde:

Db = Densidad básica (g cm^{-3})

P_o = Peso anhidro de la madera (g)

V_v = Volumen verde de la madera (cm^{-3})

Poder calorífico superior

El poder calorífico se determinó mediante la norma ASTM E711-87 (ASTM, 2004). El ensayo se realizó en un calorímetro de chaqueta plana Parr® modelo 1341.

Análisis estadístico

En el análisis de datos se emplearon 12 tratamientos (especies forestales). Se evaluó la densidad básica y el poder calorífico con cinco repeticiones. Las diferencias significativas en cada tratamiento se evaluaron con un Diseño Completamente al azar (DCA), mediante una prueba de comparación de medias de *Tukey* a un nivel de significancia de $\alpha=0.05$ en el paquete estadístico SAS® versión 9.0 (Montgomery, 1997; SAS institute Inc., 2014).

El modelo ajustado fue el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij} \quad (2)$$

Donde:

Y_{ij} = Respuesta del tratamiento i en su repetición j

μ = Efecto promedio general

τ_i = Efecto del i -ésimo tratamiento

ε_{ij} = Término de error aleatorio, donde los ε_{ij} tienen una distribución normal e independiente con media 0 y varianza constante

Resultados y Discusión

Intervención de la población en el uso de leña

De acuerdo con la autoridad agraria de San Sebastián Coatlán, en su territorio el régimen de propiedad es de tipo comunal y privada. Las personas que poseen terrenos en la comunidad con vegetación arbórea abundante pueden seleccionar árboles que consideran leña de mejor calidad; por el contrario, aquellas personas que carecen de tierras, recurren a comprar la leña o utilizan especies con menor aptitud para su uso energético. Antonio *et al.* (2006) señalan que no todas las comunidades administran y manejan la vegetación para producir leña, porque esa posibilidad está estrechamente relacionada con la tenencia de la tierra.

De acuerdo con el Programa de Manejo Forestal (PMF), el aprovechamiento forestal en la comunidad se realiza mediante el Método Mexicano de Ordenación de Bosques Irregulares (MMOBI), mediante el método de selección que consiste en la remoción del arbolado que presenta el criterio de madurez, en forma individual o por grupos pequeños a intervalos constantes. Lo anterior indica que, dentro de los tratamientos silviculturales intermedios y la cosecha, no se genera un gran volumen de residuos leñosos (Cofosa, 2013). Las ramas y puntas que proceden del aprovechamiento maderable no se utilizan como combustible debido a que la mayoría pertenecen a especies de coníferas.

Preferencia del uso de leña

La curva de acumulación de especies muestra que conforme se realizó la encuesta y se registraron los taxa, esta aumentó en los primeros hogares y después se estabilizó, hasta llegar a un punto asintótico (Figura 1); ello concuerda con lo propuesto por Álvarez *et al.* (2006), quienes citan que cuando una curva de acumulación es asintótica, aunque se aumente el número de unidades de muestreo o de individuos censados, es decir, se incremente el esfuerzo, el número de especies no será mayor.

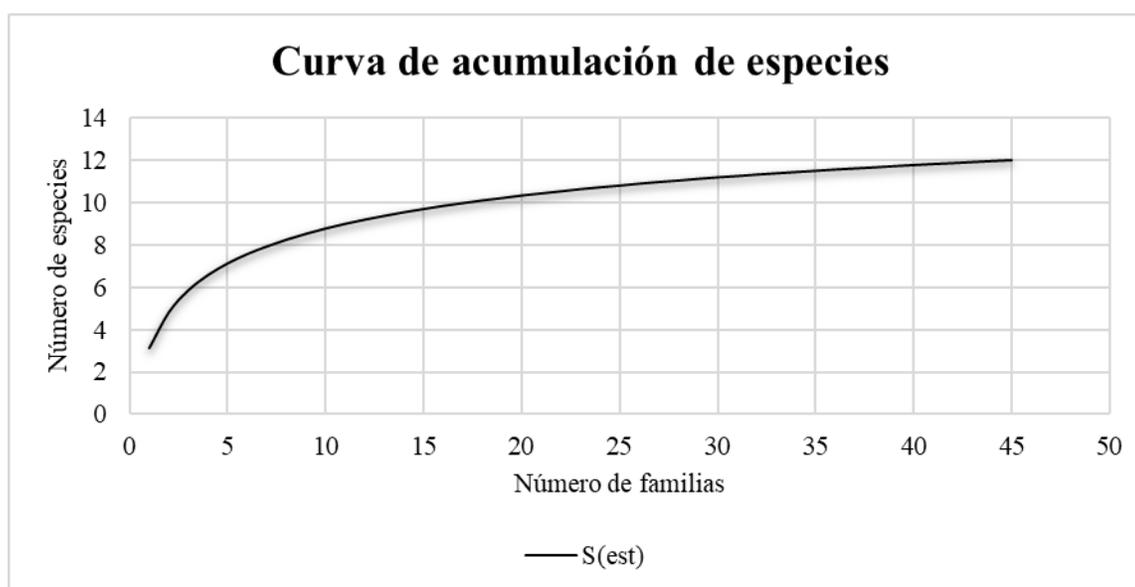


Figura 1. Curva de acumulación de especies registradas en las encuestas aplicadas en el municipio San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca.

La curva se obtuvo empleando el método de proyección de riqueza propuesto por Mao *et al.* (2005). Esto permitió obtener una lista de 12 especies de plantas utilizadas como combustible en la comunidad San Sebastián Coatlán.

La población femenina, en su mayoría, se dedica a las labores domésticas, su principal actividad es cocinar y utilizan leña como combustible esencial. Se encuestaron 45 familias, de las cuales 40 % usa exclusivamente leña, en tanto que 60 % la utiliza en combinación con gas LP. Lo mismo sucede en el ejido Los Sauces, municipio Tepalcingo, Morelos, donde 40 % de los hogares emplean únicamente leña y 60 % la combinan con gas LP (Yescas *et al.*, 2016). En este sentido, en un estudio realizado en Yanhuitlán, Oaxaca, se documenta que 18 % ocupa exclusivamente leña y 82 % la combina con otro combustible, en particular gas LP, debido a la facilidad en su manejo y su rapidez para encender (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2003).

Los resultados indican que el porcentaje de personas que utilizan solamente leña es menor al que usa una combinación de leña y gas LP, debido a la practicidad de combinar ambos productos para producir calor, sobre todo en temporadas de lluvia, cuando se dificulta su traslado y el contenido de humedad de la madera es alta, lo que obstaculiza su encendido.

Las 45 familias encuestadas que continúan empleando principalmente leña, comentaron que lo hacen porque al cocinar, el sabor de los alimentos es más agradable al paladar, además para algunas otras actividades este producto es irremplazable, por ejemplo, en la elaboración de tortillas, de pan y algunas familias que se dedican a la carnicería. El gas LP solo lo utilizan para preparar algunos alimentos o cocer otros que no requieren una gran cantidad de calor. En Usme, Bogotá, sucede algo similar, donde se usa leña por la calidad que agregan a los alimentos, por tradición y a la economía del combustible (Sierra-Vargas *et al.*, 2014).

Selección de leña en campo

Los hombres son los que se encargan de la recolecta de la leña, sobre todo cuando son grandes volúmenes. Para realizar esta actividad, las personas seleccionan en su propiedad aquellos árboles con los diámetros y alturas mayores, y posteriormente los derriban. Los ejemplares de dimensiones menores quedan en pie para su crecimiento y desarrollo, con la finalidad de que en fechas posteriores se aprovechen. También utilizan como leña los individuos que se derriban en el proceso de roza, tumba y quema. En algunas ocasiones, el responsable de la familia recolecta la leña en combinación con otras actividades agrícolas, es decir, aprovechan su salida al campo para que durante el regreso a sus hogares lleven la leña en animales de carga. En diversos estudios hay registros de que la leña se obtiene del corte de árboles verdes completos, árboles muertos, recolecta de ramas y de material leñoso del suelo; además, la leña se extrae del monte, de la milpa, del solar o traspatio, incluso de parques o jardines públicos (Quiroz y Cantú, 2012; Salgado-Terrones *et al.*, 2017; Jung y Huxham, 2019).

Las mujeres y niños recolectan leña en las cercanías de la comunidad, ellos se encargan de recolectar leñas de cortas dimensiones y en diámetros pequeños, este combustible por lo regular está en estado seco y se desconoce el tipo de árbol al que perteneció. Cavalcanti *et al.* (2019) y Jung y Huxham (2019) señalan que quien recolecta la leña es, principalmente, el jefe de familia (hombre o mujer), con ayuda eventual de los hijos pequeños y parientes cercanos.

En México, los principales recolectores de leña son las mujeres y niños (Masera *et al.*, 2006). La recolección es el espacio social de convivencia donde interactúan los integrantes de la familia y las familias entre sí, esta actividad ayuda a fortalecer el tejido social y, además, sirve para planear diferentes actividades para el desarrollo de la comunidad.

Traslado de la leña

El traslado de la leña en grandes volúmenes se realiza en camionetas con capacidad de 1 y 3 t. La frecuencia de recolección depende de la cantidad que se consume en los hogares, lo cual está en función del número de integrantes que conforman la unidad familiar. De los hogares entrevistados, 31 % recolecta leña cada 6 meses, 22 % una vez al año, 18 % cada 8 días y 29 % lo hace de manera más frecuente. Semenya y Machete (2019) documentan que entre los factores que influyen para el consumo de leña está el tamaño de la familia, la asequibilidad del combustible y su disponibilidad.

La lejanía, en cuanto al tiempo de traslado de los sitios en donde los responsables de familia recolectan la leña varía desde 10 minutos hasta 2 horas de la comunidad; al respecto, Contreras-Hinojosa *et al.* (2003) registran que para el abastecimiento de leña, los recolectores invierten de 30 minutos a 2.5 horas, en función de la ubicación de sus parcelas.

Una vez que el combustible llega a los hogares de cada familia, el hombre es responsable de cortar aquellos leños que tienen diámetros grandes en trozas más pequeñas para después acomodarlas en "tareas", que constituyen un apilamiento de leña de aproximadamente 1.5 m de alto por 2 m de largo. En temporada de lluvias, las familias guardan y protegen la leña en su casa para tener una buena calidad de fuego al momento de utilizar el combustible. Quiroz y Cantú (2012) indican que cuando la leña se apila en la vivienda, sus habitantes la cuidan y protegen porque de ella depende su bienestar; en la época de lluvia la resguardan para evitar que se humedezca, lo que dificulta su encendido. En la época seca, la leña verde o semiverde se deja secar al aire libre.

Tipos de fogones utilizados en la comunidad

Con base en el Censo de la Unidad Médica Rural (CUMR, 2020), en la población de San Sebastián Coatlán, 99.7 % de sus habitantes tienen la cocina independiente al resto de la casa y 0.23 % carecen de un cuarto separado para cocinar. Con datos de las encuestas, 64 % cocina en fogones tipo "U", 16 % tiene estufas "Lorena", 11 % cocina en fogones de "tres piedras" y 8 % utiliza una combinación de las estufas mencionadas. Por el contrario, en La Montaña de Guerrero se observó que 45 % de los encuestados utilizan fogón de "tres piedras", 43.3 % estufa tipo "Lorena" y 11.7 % fogón abierto con y sin chimenea (Salgado-Terrones *et al.*, 2017). En Chiapas, 96 % usa fogón abierto tradicional de tres o más piedras, tipo "U" o doble "U" y 4 % fogones ahorradores de leña (Escobar-Ocampo *et al.*, 2009). Los fogones abiertos (tradicionales) son los predominantes, sin embargo, estos no aprovechan todo el poder calorífico de la leña.

El fogón abierto genera niveles altos de contaminación al interior de la vivienda, presentan baja eficiencia en los procesos de cocción o calentamiento y, en consecuencia, demandan una gran cantidad de leña (Maserá *et al.*, 2006; Escobar-Ocampo *et al.*, 2009). Además, el humo generado por este sistema tradicional puede causar enfermedades respiratorias, sensibilización alérgica, alteraciones agudas y crónicas de la función pulmonar, así como problemas oculares y disminución de la calidad del aire dentro de la vivienda (García-Sancho *et al.*, 2013; Flores, 2016).

Especies utilizadas como combustible en la comunidad

Con base en las encuestas realizadas, dentro de la comunidad se tiene el registro de 12 especies utilizadas como leña (Cuadro 1).

Cuadro 1. Especies utilizadas como leña en el municipio San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca.

Nombre común	Especie	Poder calorífico superior (MJ kg ⁻¹)	Densidad básica (g cm ⁻³)
Chamizo	<i>Dodonaea viscosa</i> Jacq.	21.06 (0.12) A	0.81 (0.01) A
Madroño	<i>Arbutus xalapensis</i> Kunth	21.05 (0.36) A	0.60 (0.02) CD
Abidul	<i>Alnus jorullensis</i> Kunth	21.03 (0.24) A	0.52 (0.03) E
Encino de raja	<i>Quercus candicans</i> Née	20.88 (0.19) AB	0.70 (0.02) B
Guajal	<i>Leucaena diversifolia</i> (Schltdl.) Benth.	20.84 (0.13) AB	0.70 (0.02) B
Palo de gusano	<i>Lippia myriocephala</i> Schltdl. & Cham.	20.53 (0.21) ABC	0.50 (0.04) E
Encino yegareche	<i>Quercus resinosa</i> Liebm.	20.28 (0.17) BC	0.77 (0.00) A
Encino negro	<i>Quercus glaucoides</i> M. Martens & Galeotti	20.20 (0.15) C	0.78 (0.01) A
Igazeta	<i>Montanoa leucantha</i> subsp. <i>arborescens</i> (DC.) V. A. Funk	20.10 (0.52) CD	0.54 (0.02) DE
Encino blanco	<i>Quercus laurina</i> Bonpl.	19.92 (0.51) CD	0.72 (0.03) B
Encino cucharilla	<i>Quercus rugosa</i> Née	19.91 (0.10) CD	0.79 (0.02) A
Espinal	<i>Acacia pennatula</i> (Schltdl. & Cham.) Benth.	19.53 (0.30) D	0.60 (0.01) C

Los valores entre paréntesis representan la desviación estándar. Las letras mayúsculas iguales en el sentido de las columnas indican igualdad estadística (*Tukey* $p \geq 0.05$).

En el municipio San Sebastián Coatlán se distribuyen coníferas y latifoliadas; la madera de coníferas se destina a la industria del aserrío, mientras que las latifoliadas se utilizan como leña, principalmente especies del género *Quercus*. Una situación similar sucede en los Altos de Chiapas, donde la especie predominante y con mayor potencial combustible es el encino (Soares, 2006).

Entre las familias encuestadas, los combustibles más utilizados son: el encino blanco (*Quercus laurina* Bonpl.) con 22 %, seguido del encino negro (*Quercus glaucoides* M. Martens & Galeotti) con 18 % y el encino yegareche (*Quercus resinosa* Liebm.) con 17 % (Figura 2). En general, el género *Quercus* tiene una frecuencia de uso de 79 %, y 21 % corresponde a otras latifoliadas.

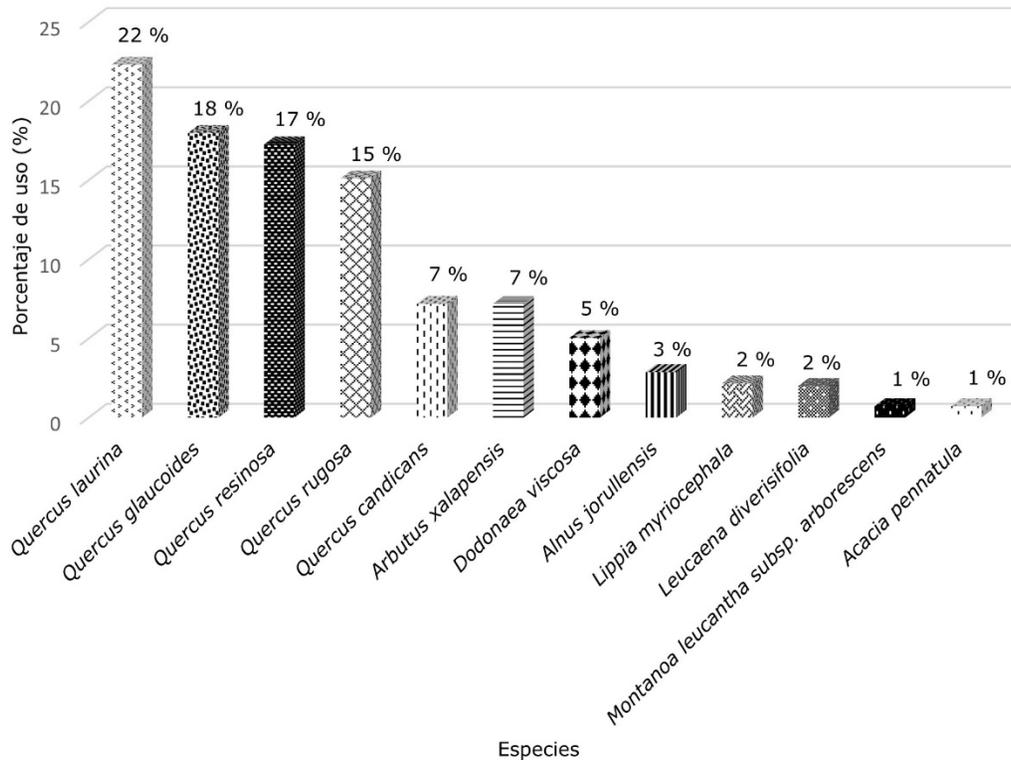


Figura 2. Porcentaje de uso de las especies preferidas como leña en San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca.

Las amas de casa argumentan que prefieren utilizar encino como leña, debido a que arde mejor y el carbón que deja al terminar de quemarse es de buena calidad, es decir, conserva una brasa duradera y potente, además de que estas especies generan poco humo. La cantidad de humo que generan está en relación con la cantidad de materia volátil, se ha observado que algunas especies de encino tienen una cantidad menor de volátiles y mayor poder calorífico comparado con otras latifoliadas (Ruiz-Aquino *et al.*, 2015). El mismo patrón de uso se registra en una comunidad del estado de Guerrero, donde la especie preferida como leña es *Quercus magnoliifolia* Née (Mozo y Silva, 2022).

En dos municipios de Puebla, se cita que los atributos para especies dendroenergéticas son: calidad del quemado (32 %), abundancia de la especie (30 %), obtención de brasas (24 %), y la producción de poco humo (14 %) (Vázquez *et al.*, 2016); lo anterior se traduce en densidad básica alta, mayor poder calorífico y menor cantidad de cenizas y volátiles. La mayoría de los estudios que incluyen la calidad de la leña se han realizado desde un enfoque cualitativo, en el que se considera la preferencia por usos y saberes de las mujeres que la utilizan (Contreras-Hinojosa *et al.*, 2003; Escobar-Ocampo *et al.*, 2009; Quiroz-Carranza y Orellana, 2010). Sin embargo, en el presente trabajo se incluyeron datos cuantitativos como la densidad básica y el poder calorífico superior que permitieron determinar que la preferencia en el uso de la leña se relacionó con la densidad básica de la madera, ya que 79 % de personas entrevistadas prefieren la leña de encino, catalogada como de densidad alta.

Densidad básica y poder calorífico superior

La especie que presentó mayor densidad básica fue *Dodonaea viscosa* Jacq. (0.81 g cm⁻³), y *Lippia myriocephala* Schltdl & Cham. (0.50 g cm⁻³) registró la densidad básica menor (Cuadro 1).

De acuerdo con la clasificación de densidad básica de Sotomayor (2005), 25 % de las especies estudiadas se clasifican como de densidad media: *Lippia myriocephala*, *Alnus jorullensis* Kunth y *Montanoa leucantha* subsp. *arborescens* (DC.) V. A. Funk; 67 % como categoría de densidad alta: *Arbutus xalapensis* Kunth, *Acacia pennatula* (Schltdl. & Cham.) Benth., *Quercus candicans* Née, *Leucaena diversifolia* (Schltdl.) Benth., *Quercus laurina*, *Q. resinosa*, *Q. glaucoides* y *Q. rugosa* Née; y solo 8 % son

de densidad muy alta: *Dodonaea viscosa*. La densidad básica de la madera está estrechamente relacionada con otras propiedades como la resistencia mecánica, rigidez, conductividad térmica y el poder calorífico, este último es la variable primordial para determinar la calidad de la madera como combustible (Gutiérrez *et al.*, 2010; Silva *et al.*, 2013).

En relación con el poder calorífico de las 12 especies, varió en un intervalo de 19.53 a 21.06 MJ kg⁻¹; estadísticamente pueden separarse en tres grupos (Cuadro 1), las medias dentro de cada uno de ellos presentan igualdad estadística. El poder calorífico superior de la madera es una variable elemental para determinar su potencial energético, y por lo tanto, considerarla como una fuente de materia prima para leña (Shanavas y Kumar, 2003; Apolinar *et al.*, 2017).

Dentro de las especies en San Sebastián Coatlán, las especies del género *Quercus* estuvieron entre las más utilizadas como combustible en forma de leña y registraron un poder calorífico superior al intervalo documentado por Ruiz-Aquino *et al.* (2015) y Herrera-Fernández *et al.* (2017), quienes citan valores de 15.78 a 19.40 MJ kg⁻¹ para cuatro taxones de encinos. En el presente estudio se observó que la preferencia de los habitantes de San Sebastián Coatlán por el uso de los combustibles biomásicos está relacionada con la densidad básica y el poder calorífico superior de la madera, atributos importantes en la selección de biomasa con fines dendroenergéticos (Ríos *et al.*, 2018). Al respecto, Protásio *et al.* (2014) indican que la densidad básica es una característica importante de la madera y se debe considerar como criterio para la selección de fuentes de biomasa, además se relaciona directamente con la producción de energía por unidad de volumen.

Conclusiones

En la cabecera municipal San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca, se registran 12 especies que se usan como leña; las tres más utilizadas son el encino blanco (*Quercus laurina*), seguido del encino negro (*Quercus glaucoides*) y el encino yegareche (*Quercus resinosa*). Estas taxa presentan una densidad alta y un poder calorífico de 19.92, 20.20 y 20.28 MJ kg⁻¹, respectivamente; por ello, los habitantes las consideran buenos combustibles. La densidad básica de las especies y el poder calorífico permiten considerar a las especies con potencial dendroenergético. *Dodonaea viscosa* tiene la densidad básica más alta (0.81 g cm⁻³) y el mayor poder calorífico (21.06 MJ kg⁻¹).

La población de San Sebastián Coatlán entrevistada señala el uso exclusivo de leña en menor proporción (40 %), en comparación con aquellos que la combinan con el uso de gas LP (60 %).

Agradecimientos

A los integrantes del Comisariado de Bienes Comunales de San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca por las facilidades otorgadas para el desarrollo de este trabajo.

Conflictos de interés

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Contribución por autor

María Elena Jiménez-Mendoza: diseño de la investigación, mediciones de campo y laboratorio, procesamiento de datos y redacción del manuscrito; Faustino Ruiz-Aquino: diseño de la investigación, mediciones de campo y laboratorio y redacción del manuscrito; Ciro Aquino-Vásquez: procesamiento de datos y redacción del manuscrito; Wenceslao Santiago-García: procesamiento de datos y redacción del manuscrito; Waldo Santiago-Juárez: procesamiento de datos; José Guadalupe Rutiaga-Quiñones: redacción del manuscrito; Mario Enrique Fuente-Carrasco: redacción del manuscrito. Todos los autores contribuyeron equitativamente en la revisión del documento.

Referencias

Álvarez, M., S. Córdoba, F. Escobar, G. Fagua, ... y H. Villarreal. 2006. Manual de métodos para el desarrollo de inventarios de biodiversidad. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt. Bogotá, CUN, Colombia. 236 p.

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2004. Standard test method for gross calorific value of refuse-derived fuel by the bomb calorimeter. ASTM E711-87 (Re-approved 2004). ASTM International. West Conshohocken, PA, USA. 8 p. <https://www.ddscalorimeters.com/astm-e711-87-re-approved-2004-international-standards/>. (01 mayo de 2022).

American Society for Testing and Materials (ASTM). 2007. Standard test methods for small clear specimens of timber. ASTM D143-94. ASTM International. West Conshohocken, PA, USA. 32 p. <https://webstore.ansi.org/standards/astm/astmd143942007>. (30 de julio de 2022).

Andrade M., G., G. Calderón de Rzedowski, S. L. Camargo-Ricalde, R. Grether, ... y M. Sousa S. 2007. Flora del Bajío y de Regiones Adyacentes. Familia Leguminosa. Fascículo 150. Instituto de Ecología, A. C, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Pátzcuaro, Mich., México. 234 p.

Antonio N., X., S. Purata V. y E. Treviño G. 2006. Análisis social y espacial del uso de leña en el trópico mexicano. *Ciencia UANL* 9(2):135-142. <http://eprints.uanl.mx/id/eprint/1692>. (20 de mayo de 2022).

Apolinar H., F., J. A. Honorato-Salazar y G. Colotl H. 2017. Caracterización energética de la madera de *Acacia pennatula* Schlttdl. & Cham. y *Trema micrantha* (L.) Blume. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 8(39):71-81. Doi: 10.29298/rmcf.v8i39.44.

Atkinson, R. and J. Flint. 2001. Accessing hidden and hard-to-reach populations: Snowball research strategies. *Social Research Update* 33:1-5. <https://sru.soc.surrey.ac.uk/SRU33.html>. (5 de febrero de 2023).

Baltar, F. y M. T. Gorjup. 2012. Muestreo mixto online: Una aplicación en poblaciones ocultas. *Intangible Capital* 8(1):123-149. Doi: 10.3926/ic.294.

Bisquerra, A. R. 2009. Metodología de la investigación educativa. La Muralla. Madrid, MD, España. 458 p.

British Columbia Ministry of Forests (BCMF). 1996. Techniques and procedures for collecting, preserving, processing, and storing botanical specimens. British Columbia Ministry of Forest. Victoria, B. C., Canada. 44 p.

Calderon de Rzedowski, G. y J. Rzedowski. 2005. Flora fanerogámica del Valle de México. Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Pátzcuaro, Mich., México. 1406 p.

Cavalcanti G. da S., M., M. Alves R. and A. G. Chaves A. 2019. The use of firewood for home consumption and the fabrication of hand-crafted ceramics in a semi-arid region of Northeast Brazil. *Acta Botanica Brasilica* 33(2):331-339. Doi: 10.1590/0102-33062019abb0164.

Censo de la Unidad Médica Rural (CUMR). 2020. Levantamiento de censo 2020 global, San Sebastián Coatlán, Oaxaca. Delegación Unidad Médica Rural No. 272. Gobierno de Oaxaca. Miahuatlán, Oax., México. 1 p.

Consultoría Forestal y de Servicios Agropecuarios (Cofosa). 2013. Programa de manejo forestal para el aprovechamiento y conservación de los recursos forestales maderables de San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca. Ciclo de corta 2013-2022. Consultoría Forestal y de Servicios Agropecuarios. Miahuatlán, Oax., México. 66 p.

Contreras-Hinojosa, J. R., V. Volke-Haller, J. L. Oropeza-Mota, C. Rodríguez-Franco, T. Martínez-Saldaña y A. Martínez-Garza. 2003. Disponibilidad y uso de leña en el municipio de Yanhuatlán, Oaxaca. *Terra Latinoamericana* 21(3):437-445. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57311097002>. (6 de julio de 2022).

Escobar-Ocampo, M. C., J. A. Niños-Cruz, N. Ramírez-Marcial y C. Yépez-Pacheco. 2009. Diagnóstico participativo del uso, demanda y abastecimiento de leña en una comunidad zoque del centro de Chiapas, México. *Ra Ximhai* 5(2):201-223. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46111507006>. (31 de mayo de 2022).

Flores S., M. T. 2016. Alcances ambientales de la adopción de la estufa ahorradora de leña *tlecalli* en dos comunidades rurales del Estado de Morelos, México. *Ambiente y Desarrollo* 20(39):143-157. Doi: 10.11144/Javeriana.ayd20-39.aaae.

Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). 2022. FAOSTAT Forestry Production and Trade. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/FO/visualize>. (25 de mayo de 2022).

García-Sancho, C., R. Fernández-Plata, D. Martínez-Briseño, L. Torre-Bouscoulet, ... y R. Pérez-Padilla. 2013. Exposición a humo de leña y tuberculosis en niños. *Neumol Cir Torax* 72(4):281-286. <http://www.medigraphic.com/neumologia>. (12 de mayo de 2022).

González V., L. M. 1986. Contribución al conocimiento del género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de Jalisco. Instituto de Botánica, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jal., México. 240 p.

Gutiérrez V., B. N., M. Gómez C., S. Valencia M., E. H. Cornejo O., J. A. Prieto R. y M. H. Gutiérrez V. 2010. Variación de la densidad de la madera en poblaciones naturales de *Pinus oocarpa* Schiede ex Schltdl. del estado de Chiapas, México. *Revista Fitotecnia Mexicana* 33(4):75-78. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-73802010000500015&lng=es. (16 de junio de 2022).

Guyat D., M. A., A. Mercadet P. y R. Padrón P. 2004. La dendroenergía: consideraciones generales. *Revista Forestal Baracoa* 23(1):129-136. <https://docplayer.es/85801023-La-dendroenergia-consideraciones-generales.html>. (20 de mayo de 2022).

Hernández S., R., C. Fernández C. y M. P. Baptista L. 2014. Metodología de la investigación. McGraw-Hill. Álvaro Obregón, México D.F., México. 600 p.

Herrera-Fernández, A. C., A. Carrillo-Parra, F. E. Pedraza-Bucio, F. Correa-Méndez, ... y J. G. Rutiaga-Quiñones. 2017. Densidad, composición química y poder calorífico de la madera de tres especies de encino (*Quercus candicans*, *Q. laurina* y *Q. rugosa*). *Ciencia Nicolaita* 72:136-154. Doi: 10.35830/cn.v0i72.345.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2008. Prontuario de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos. San Sebastián

Coatlán. Clave geoestadística 20344. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México. 9 p.

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2011. Diseño de la muestra en proyectos de encuesta. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México. 22 p.
https://www.snieg.mx/documentacionportal/normatividad/vigente/doctos_genbasica/muestra_encuesta.pdf. (01 de junio de 2022).

Instituto Nacional de Estadística y Geografía (Inegi). 2020. Archivo histórico de localidades geoestadísticas. San Sebastián Coatlán. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. Aguascalientes, Ags., México. 6 p.

Jung, J. and M. Huxham. 2019. Firewood usage and indoor air pollution from traditional cooking fires in Gazi Bay, Kenya. *Bioscience Horizons* 12(1):1-12. Doi: 10.1093/biohorizons/hzy014.

López-Roldán, P. y S. Fachelli. 2015. Metodología de la investigación social cuantitativa. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, CT, España. 40 p.

Mao, C. X., R. K. Colwell and J. Chang. 2005. Estimating the species accumulation curve using mixtures. *Biometrics* 61(2):433-441. Doi: 10.1111/j.1541-0420.2005.00316.x.

Masera, O., R. Díaz y V. Berrueta. 2006. Programa para el uso sustentable de la leña en México: de la construcción de estufas a la apropiación de tecnología. *Revista Digital Entorno TCSD* 7:1-7. <https://docplayer.es/14869948-Programa-para-el-uso-sustentable-de-la-lena-en-mexico-de-la-construccion-de-estufas-a-la-apropiacion-de-tecnologia.html>. (28 de junio de 2022).

May, T. 2013. Niveles de consumo de leña y su disminución a través del uso de estufas Lorena mejoradas en comunidades del Suroeste de la República Dominicana. *Sociedad y Ambiente* 1(2):29-46. Doi: 10.31840/sya.v0i2.14.

- Monjaraz S., C. 2013. Plan Municipal de Desarrollo de San Sebastián Coatlán, Miahuatlán, Oaxaca. Trienio 2011-2013. Gobierno del Estado de Oaxaca. Miahuatlán, Oax., México. 158 p.
- Montgomery, D. C. 1997. Design and analysis of experiments. John Wiley & Sons., Inc. Hoboken, NJ, USA. 699 p.
- Mozo O., A. y M. Silva A. 2022. Caracterización del aprovechamiento de leña en una comunidad Me'phaa de la Montaña de Guerrero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 13(70):112-135. Doi: 10.29298/rmcf.v13i70.1263.
- Pinilla S., J. C. y G. Hernández C. 2010. Poder calorífico de *Acacia dealbata* Link crecida en Chile. *Ciencia e Investigación Forestal* 16(3):353-379. Doi: 10.52904/0718-4646.2010.354.
- Protásio, T. de P., S. Lopes G., T. Andrade N., M. Reiss de Assis e P. F. Trugilho. 2014. Clones comerciais de Eucalyptus de diferentes idades para o uso bioenergético da madeira. *Scientia Forestalis* 42(101):113-127. https://www.researchgate.net/publication/286054745_Commercial_clones_of_Eucalyptus_at_different_ages_for_bioenergetic_use_of_wood. (18 de junio de 2022).
- Quiroz C., J. y C. Cantú G. 2012. El fogón abierto de tres piedras en la península de Yucatán: tradición y transferencia tecnológica. *Revista Pueblos y Fronteras Digital* 7(13):270-301. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1870-41152012000100010&lng=es&nrm=iso. (27 de mayo de 2022).
- Quiroz-Carranza, J. y R. Orellana. 2010. Uso y manejo de leña combustible en viviendas de seis localidades de Yucatán, México. *Madera y Bosques* 16(2):47-67. Doi: 10.21829/myb.2010.1621172.
- Ríos S., J. C., R. Rubilar P., J. Cancino C., E. Acuña C., J. J. Corral R. y R. Rosales S. 2018. Densidad básica de la madera y poder calorífico en vástagos de tres cultivos

dendroenergéticos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 9(47):253-272. Doi: <https://doi.org/10.29298/rmcf.v9i47.157>.

Rivas P., T. de J. 2017. Microrregionalización para el desarrollo turístico con sustentabilidad. In: Diaz G., A., I. Solano D., M. Speakman y N. A. Guillén N. (Eds.) *Turismo y sustentabilidad. Consecuencias del paradigma clásico y nuevos enfoques de desarrollo*. Universidad Autónoma de Guerrero. Chilpancingo, Gro., México. pp. 276-287.

Romero R., S., E. C. Rojas Z. y M. de L. Aguilar E. 2002. El Género *Quercus* (Fagaceae) en el estado de México. *Annals of the Missouri Botanical Garden* 89(4):551-593. Doi: 10.2307/3298595.

Ruiz-Aquino, F., M. M. González-Peña, J. I. Valdez-Hernández, U. S. Revilla and A. Romero-Manzanares. 2015. Chemical characterization and fuel properties of Wood and bark of two oaks from Oaxaca, México. *Industrial Crops and Products* 65:90-95. Doi: 10.1016/j.indcrop.2014.11.024.

Ruiz-Mercado, I. and O. Masera. 2015. Patterns of Stove Use in the Context of Fuel-Device Stacking: Rationale and Implications. *EcoHealth* 12(1):42-56. Doi: 10.1007/s10393-015-1009-4.

Rzedowski, J. y G. Calderón de Rzedowski. 2002. Flora del bajío y regiones adyacentes. Verbenaceae. Fascículo 100. Instituto de Ecología, A. C, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (Conacyt) y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (Conabio). Pátzcuaro, Mich., México. 145 p.

Salgado-Terrones, O., M. Borda-Niño y E. Ceccon. 2017. Uso y disponibilidad de leña en la región de La Montaña en el estado de Guerrero y sus implicaciones en la unidad ambiental. *Madera y Bosques* 23(3):121-135. Doi: 10.21829/myb.2017.2331473.

SAS Institute Inc. 2014. SAS Version 9.0 (TS M0) Software update. Cary, NC., USA. SAS Institute Inc. http://ftp.sas.com/techsup/download/hotfix/90_updates.html. (01 de mayo de 2022).

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). 2021. Anuario Estadístico de la Producción Forestal 2018. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. Miguel Hidalgo, CdMx, México. 297 p.

Semenya, K. and F. Machete. 2019. Factors that influence firewood use among electrified Bapedi households of Senwabarwana Villages, South Africa. *African Journal of Science, Technology, Innovation and Development* 11(6):719-729. Doi: 10.1080/20421338.2019.1572336.

Shanavas, A. and B. M. Kumar. 2003. Fuelwood characteristics of tree species in homegardens of Kerala, India. *Agroforestry Systems* 58:11-24. Doi: 10.1023/A:1025450407545.

Sierra-Vargas, F. E., C. A. Guerrero-Fajardo y F. Mejía-Barragán. 2014. Determinación de la eficiencia de la cocción con leña en las veredas de Usme, Bogotá. *Ingeniería Mecánica* 17(2):185-194. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59442014000200010&lng=es&nrm=iso. (13 de junio de 2022).

Silva G., J. A., F. J. Fuentes T., R. Rodríguez A., P. A. Torres A., ... y H. G. Richter. 2013. Ficha técnicas sobre características tecnológicas y usos de maderas comercializadas en México. Tomo II. Comisión Nacional Forestal. Zapopan, Jal., México. 128 p. <http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=399>. (10 de junio de 2022).

Soares, D. 2006. Género, leña y sostenibilidad: el caso de una comunidad de los Altos de Chiapas. *Economía, Sociedad y Territorio* 6(21):151-175. Doi: 10.22136/est002006276.

Sotomayor C., J. R. 2005. Características mecánicas y clasificación de la madera de 150 especies mexicanas. *Investigación e Ingeniería de la Madera* 1(1):3-24. https://www.researchgate.net/publication/260752809_Caracteristicas_mecanicas_y_clasificacion_de_150_especies_de_maderas_Mexicanas. (10 de julio de 2022).

Vázquez C., M. A., A. Cruz L., C. Santos C., M. A. Pérez T. y D. M. Sangerman-Jarquín. 2016. Estufas lorena: uso de leña y conservación de la vegetación. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (16):3159-3172. Doi: 10.29312/remexca.v0i16.386.

Yescas A., C. A., A. Cruz L., M. Uribe G., A. Lara B. y R. Maldonado T. 2016. Árboles nativos con potencial dendroenergético para el diseño de tecnologías agroforestales en Tepalcingo, Morelos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* (16):3301-3313. Doi: 10.29312/remexca.v0i16.398.

Zárate P., S. 1994. Revisión del género *Leucaena* en México. *Anales del Instituto de Biología de la Universidad Nacional Autónoma de México, Serie Botánica* 65(2):83-162. <https://www.revistas.unam.mx/index.php/bot/article/view/1863>. (20 de abril de 2022).

Zavaleta, C. F. 2003. Identificación de encinos de México. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. Méx., México. 188 p.



Todos los textos publicados por la **Revista Mexicana de Ciencias Forestales** –sin excepción– se distribuyen amparados bajo la licencia *Creative Commons 4.0 Atribución-No Comercial (CC BY-NC 4.0 Internacional)*, que permite a terceros utilizar lo publicado siempre que mencionen la autoría del trabajo y a la primera publicación en esta revista.