Revista Mexicana de Ciencias Forestales Vol. 17 (95)
Mayo - Junio (2026)

DOI: 10.29298/rmcf.v17i95.1632
Artículo de investigación

Especies dendroenergéticas empleadas para la producción de mezcal en la Región Norte de Guerrero

Dendroenergetic species used for *mezcal* production in the *Región Norte* of the state of *Guerrero*

Viridiana Álvarez González[1], Héctor Ramón Segura Pacheco[1], Elías Hernández Castro[2], Natividad D. Herrera Castro[1], Eduardo Sánchez Jiménez[3], Jorge Huerta Zavala[2]*

Fecha de recepción/Reception date: 16 de enero de 2026.
Fecha de aceptación/Acceptance date: 6 de abril 2026.

[1]Universidad Autónoma de Guerrero, Maestría en Ciencias Agropecuarias y Gestión Local, campus Tuxpan. México.
[2]Universidad Autónoma de Guerrero, Doctorado en Sostenibilidad de los Recursos Agropecuarios, campus Tuxpan. México.
[3]Universidad Autónoma del Estado de México, Doctorado en Sustentabilidad para el Desarrollo. México.

*Autor para correspondencia; correo-e: jorgehuza@hotmail.com
*Corresponding author; e-mail: jorgehuza@hotmail.com

Resumen

La producción artesanal de mezcal en el norte de Guerrero, México representa una práctica biocultural de gran arraigo, en el cual la leña desempeña un papel clave como fuente de energía para el proceso. Este estudio etnobotánico se realizó en cuatro comunidades con fuerte tradición mezcalera (El Calvario, Apetlanca, Temalac y Mezquitlán), con el objetivo de identificar y analizar las especies dendroenergéticas empleadas. Para ello, se llevaron a cabo 80 entrevistas semiestructuradas a productores, que corresponden a 50 % del total en el área de estudio. Se aplicaron los índices de Valor de Uso (*IVU*), Nivel de Uso Significativo (*UST*) y Clasificación Matricial Directa (*CMD*). Los resultados documentan 15 taxones maderables, con predominancia de la familia Fabaceae por su densidad y poder calorífico. Especies como *Lysiloma acapulcense* y *Leucaena esculenta* presentaron los mayores niveles de consenso cultural (*UST*>50 %). El análisis inferencial mostró diferencias altamente significativas en el conocimiento y consumo de dendrocombustible entre localidades (p<0.0001). Se identificó que 90 % de los productores emplean leña verde al menos en alguno de sus procesos, práctica que compromete la eficiencia energética y eleva la presión sobre la selva baja caducifolia. Se concluye que la sostenibilidad del sistema mezcalero exige integrar la gestión forestal comunitaria y la trazabilidad de la leña en marcos normativos como la NOM-070-SCFI-2016, así como el reconocimiento al recurso dendroenergético como un insumo tan crítico para la identidad y permanencia de la industria, como el propio agave.

Palabras clave: Artesanal, combustibles, dendroenergía, energía, etnobotánica, leña.

Abstract

Artisanal *mezcal* production in Northern state of *Guerrero*, Mexico, is a deeply rooted biocultural practice, where firewood plays a key role as the primary energy source. This ethnobotanical study was conducted in four communities with a strong *mezcal* tradition (*El Calvario*, *Apetlanca*, *Temalac* and *Mezquitlán*) to identify and analyze the dendroenergetic species that are used as fuel for cooking and distillation for *mezcal* production. Eighty semi-structured interviews were carried out with producers, representing 50 % of the total population in the study area. The Use Value (*UV*), Significant Use Level (*SUL*) and Direct Matrix Ranking (*DMR*) indices were applied. Results documented 15 timber species, with the Fabaceae family predominating due to its high density and calorific value. Species such as *Lysiloma acapulcense* and *Leucaena esculenta* showed the highest levels of cultural *consensus* (*SUL*>50 %). Inferential analysis showed highly significant differences in ethnobotanical knowledge and fuel consumption among locations (p<0.0001). It was identified that 90 % of producers use green firewood in at least one of their processes, a practice that compromises energy efficiency and increases pressure on the low deciduous forest. It is concluded that the sustainability of the *mezcal* system requires integrating community forest management and firewood traceability into regulatory frameworks such as NOM-070-SCFI-2016, recognizing dendroenergetic resources as an input as critical to the industry's identity and permanence as the *agave* itself.

Keywords: Artisanal, fuels, dendroenergy, energy, ethnobotany, firewood.

Introducción

En México, la leña constituye una fuente energética fundamental para la población rural, tanto para uso doméstico como para actividades productivas tradicionales (Libert-Amico et al., 2024). Entre estas destaca la elaboración artesanal de mezcal, proceso que demanda cantidades considerables de biomasa y que representa un componente clave de la economía y la cultura en diversas regiones del país. No obstante, en el actual debate sobre la sostenibilidad de la industria mezcalera, la atención suele centrarse de manera casi exclusiva en la gestión y conservación del género *Agave*, sin considerar el papel crítico que desempeña la dendroenergía como insumo fundamental en el proceso de destilación.

Bajo esta premisa, la presente investigación se inserta en un marco conceptual de sostenibilidad holística, al reconocer que la viabilidad a largo plazo de estos sistemas bioculturales depende de un manejo forestal integral. Dicho enfoque considera a la leña no solo como un recurso de extracción, sino como un servicio ecosistémico de provisión esencial para la seguridad energética rural, por lo que el análisis de los recursos naturales necesarios para el destilado del mezcal debe extenderse necesariamente más allá de los agaves (Torres-García & Delgado-Lemus, 2019).

Estudios previos en estados como Michoacán, Oaxaca y Puebla han documentado el uso preferente de especies de los géneros *Quercus*, *Lysiloma* y *Prosopis*, valoradas por su alto poder calorífico y su capacidad para proporcionar características organolépticas distintivas al mezcal (Torres-García & Delgado-Lemus, 2019; Jiménez-Mendoza et al., 2023). El empleo de estos taxones se integra en sistemas de conocimiento tradicional en los cuales los recursos forestales poseen múltiples usos (madera, forraje o medicina), lo que incrementa su aprecio socioecológico y justifica su selección técnica por parte de los productores (García-Maceda, 2024).

Sin embargo, su aprovechamiento no regulado conlleva riesgos de sobreexplotación y degradación de los ecosistemas (López-Santiago et al., 2019). A pesar de la relevancia de la industria mezcalera en otras regiones del país, persiste un vacío de información sistemática sobre las especies dendroenergéticas utilizadas, específicamente, en el norte de Guerrero; así como sobre los criterios técnicos y culturales que guían su aprovechamiento. Por ello, el objetivo del presente estudio fue identificar las principales especies leñosas empleadas en la producción de mezcal en cuatro localidades de esta región, además de caracterizar sus usos y evaluar su importancia cultural, con el fin de proponer bases para un manejo forestal sustentable que armonice la producción tradicional con la conservación de la biodiversidad local.

Materiales y Métodos

Área de estudio

El estudio se desarrolló en la región norte del estado de Guerrero, México. Se seleccionaron cuatro localidades intencionalmente por su tradición mezcalera y características socioecológicas diferenciadas (Figura 1): El Calvario, Apetlanca, Temalac y Mezquitlán. La región presenta grados altos de marginación y una diversidad de climas y

tipos de vegetación (Instituto Nacional de Geografía y Estadística [Inegi], 2020Consejo Nacional de Población [Conapo], 2021), como se detalla en el Cuadro 1.

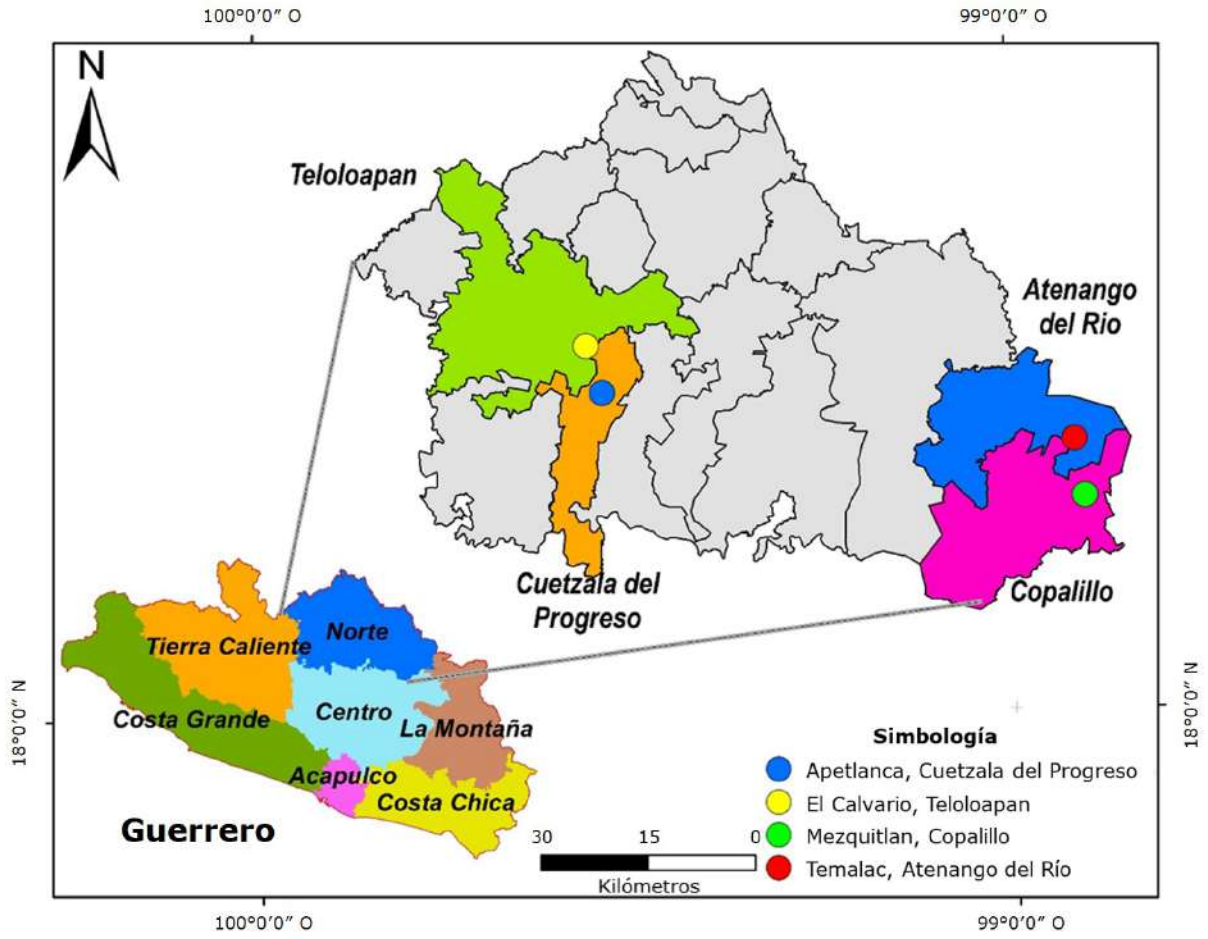


Figura 1. Ubicación de las localidades de estudio en la Región Norte de Guerrero, México.

Cuadro 1. Contexto biofísico, sociocultural y cobertura de la población de productores de mezcal por localidad.

Municipio	Localidad	Etnia	Gm	Altitud	Coordenadas geográficas	Clima	Tv	Tpm	Tpme
Atenango del Río	Temalac	Indígena	Medio	968	18°7'4.8" N 98°57'10.0" O	Semiseco muy cálido	Sbc	35	20
Copalillo	Mezquitlán	Indígena	Alto	642	18°1'16.3" N 98°56'7.0" O	Cálido subhúmedo	Sbc y espinosa	22	15
Cuetzala del Progreso	Apetlanca	Mestiza	Medio	1 720	18°12'29.9" N 99°47'16.2" O	Templado subhúmedo	Sbc	50	20
Teloloapan	El Calvario	Mestiza	Alto	1 753	18°17'21.2" N 99°48'59.6" O	Templado subhúmedo	Sbc y ecotono bosque de cedro	53	25

Gm = Grado de marginación; Tv = Tipo de vegetación; *Tpm* = Total de productores de mezcal; *Tpme* = Total de productores de mezcal entrevistados; Sbc = Selva baja caducifolia. Fuente: Conapo (2021); Inegi (2020).

Población y muestra

La población objetivo estuvo conformada por un total de 160 productores de mezcal activos en las cuatro localidades seleccionadas. Se empleó un muestreo no probabilístico que alcanzó una cobertura de 50 % (80 informantes). El tamaño de la muestra se justificó bajo el criterio de saturación teórica, punto en el cual la recolección de datos adicionales no generó nuevas categorías de análisis, ni registros de especies distintas a las ya documentadas (Hernández-Sampieri, 2014). La representatividad alcanzada, que varió entre 40 y 68 % por localidad, permitió una inferencia robusta sobre las prácticas de manejo dendroenergético en la región. Como limitaciones del estudio, se asume el sesgo inherente a la participación voluntaria y la exclusión de productores que, por razones de estacionalidad o migración temporal, no estaban activos durante el periodo de levantamiento de datos.

Recolección de datos y justificación estacional

La información se obtuvo mediante entrevistas semiestructuradas (46 reactivos) validadas por especialistas en etnobotánica y un *pretest* con cinco productores no incluidos en la muestra final. El estudio se sincronizó con el estiaje (enero-abril), único periodo de producción artesanal de mezcal en el norte de Guerrero, debido a la necesidad de tener control térmico en los hornos de foso y estabilidad en la fermentación (Jiménez-Mendoza et al., 2023).

Este diseño permitió capturar datos técnicos en tiempo real y minimizar sesgos de memoria. Según el marco de Romero-Carazas et al. (2024), las variables incluyeron: (1) sociodemográficas (etnia, marginación, acceso a recursos); (2) procesos técnicos (detalles de cocción de piñas y destilación); (3) etnobotánicas (preferencias, poder calórico percibido e influencia en el sabor/calidad); (4) selección y obtención (identificación tradicional y fuentes de suministro); y (5) manejo y usos adicionales (extracción, forraje, construcción, entre otros).

Colecta e identificación botánica

Para asegurar una correcta identificación taxonómica que incluyera las variaciones fenológicas de las especies, la fase de colecta del material biológico se realizó de junio de 2024 a diciembre de 2025. Durante este periodo se hicieron 16 recorridos de campo (cuatro por localidad) acompañados de guías locales para colectar muestras en distintas etapas fenológicas (floración, fructificación y estado vegetativo).

De cada taxón se obtuvieron tres muestras biológicas, las cuales fueron procesadas mediante la técnica de herborización de Sánchez-González y González-Ledesma (2007) y depositadas en el Herbario de la Universidad Autónoma de Guerrero (UAGC). La determinación taxonómica se realizó mediante el uso de claves especializadas (Pennington & Sarukhán, 2005) y la comparación con ejemplares de referencia; con ello, se corroboró la identidad de las especies citadas por los productores durante las entrevistas.

Análisis de datos

Los datos cuantitativos se procesaron con el *software* estadístico *SPSS* versión 25 (International Business Machines (IBM), 2022), para obtener estadísticas descriptivas (frecuencias, medias y desviaciones estándar), mientras que los cualitativos se sometieron a un análisis de contenido y categorización temática. El estudio de la importancia biocultural y la presión sobre el recurso se sustentó en los siguientes índices:

Índice de Valor de Uso (*IVU*). Determina la versatilidad de las especies según la diversidad de usos y su frecuencia de mención (Olea-Reséndiz et al., 2022). Se calculó mediante la fórmula:

$$IVU_{is} = \frac{\Sigma\ U_{is}}{n_{is}} \qquad (1)$$

Donde:

ΣU_{is} = Suma total del número de usos mencionados por cada informante (*i*), para cada especie (*s*)

n_{is} = Número de informantes entrevistados

Nivel de Uso Significativo *TRAMIL* (*UST*). Evalúa el consenso social sobre el aprovechamiento en una categoría específica. Para su cálculo se utilizó la metodología propuesta por Boulogne et al. (2011).

$$UST = \frac{Uso\ de\ especies\ (s)}{n_{is}} \times 100 \qquad (2)$$

Donde:

Uso de la especie(s) = Número de menciones para cada especie

n_{is} = Número de informantes encuestados

Se consideraron significativas las especies con *UST*≥20 % (Zambrano-Intriago et al., 2015).

Valor de Uso (*VU*). Permite cuantificar y comparar la importancia de las especies vegetales sobre la base del consenso de los informantes, lo que es fundamental para priorizar taxones en programas de manejo y conservación. Para evitar que el número total de usos específicos sesgue los resultados, se propone un método en el cual cada categoría de uso tiene un valor máximo de uno (1); si una especie presenta varios usos dentro de una sola categoría, la unidad se divide equitativamente entre ellos. De esta forma, el valor máximo de importancia de un taxón queda determinado por el número de categorías analizadas y no por la cantidad de usos diferentes, lo que asegura una evaluación equilibrada de su relevancia funcional y facilita el diseño de estrategias de aprovechamiento sustentable (Marín-Corba et al., 2005).

Clasificación Matricial Directa (*CMD*). Técnica participativa para jerarquizar recursos según rendimiento, disponibilidad y calidad. Se empleó una escala de 1 a 4 para generar un índice de importancia o escasez (Martin, 2004):

$$CMD = \sum\{i = 1\}^{\{n\}} V\{ij\} \qquad (3)$$

Donde:

CMD = Clasificación matricial directa para la especie *j*

$\Sigma=\{i=1\}^{\{n\}}$ = Suma desde el informante 1 hasta el informante *n*

$^{V\{ij\}}$ = Valor otorgado por el informante *i* a la especie *j*

Análisis inferencial

Todos los análisis estadísticos se realizaron con el *software IBM SPSS Statistics* versión 25 (IBM, 2022). Previo al análisis, se verificó la distribución de las variables mediante la prueba de *Shapiro-Wilk*, la cual determinó el uso de métodos no paramétricos al no presentar normalidad. Se aplicó la prueba de *Kruskal-Wallis* para contrastar el conocimiento etnobotánico y el consumo de combustible entre localidades, así como para comparar la escala de producción anual entre las especies preferidas. De forma complementaria, se utilizó la prueba *Chi*-cuadrada de *Pearson* para evaluar la asociación entre la preferencia de especies y la comunidad de origen. Finalmente, se empleó la prueba de *Mann-Whitney* para determinar variaciones en el consumo de biomasa según el régimen de propiedad de la destilería (propia o rentada). Todos los análisis se ejecutaron con un nivel de confianza de 95 %.

Resultados y Discusión

Caracterización socio productiva de los productores de mezcal

La edad de los 80 productores entrevistados fue de los 20 a los 77 años, cuyo promedio fluctuó de los 43 a los 56 años, con una participación limitada de jóvenes. La experiencia en la producción varió de 10 a 18 años en promedio por localidad. Solo 34 % (*n*=27) eran propietarios de sus fábricas, mientras que 66 % (*n*=53) las operaban bajo arrendamiento (Cuadro 2).

Cuadro 2. Perfil socioproductivo y escala de producción de mezcal por localidad.

Localidad	Total de productores de mezcal entrevistados	Edad promedio (años)	Experiencia promedio (años)	Propietarios (%)	Volumen promedio de producción de mezcal por productor (L ciclo^{-1})
El Calvario	25	48.5	18.0	36.00	250-360
Apetlanca	20	54.9	18.0	35.00	800-1 000
Temalac	20	56.1	14.7	45.00	350-400
Mezquitlán	15	43.0	10.7	20.00	60-80
Global	80	51.0	15.8	34.00	60-1 000

La producción se concentra entre febrero y mayo, con volúmenes promedio por productor de 60 a 1 000 L (Cuadro 2). Las especies de agave más utilizadas fueron *Agave angustifolia* Haw. y *Agave cupreata* Trel. & A. Berger, y en menor medida *Agave rhodacantha* Trel., *Agave salmiana* Otto *ex* Salm-Dyck y *Agave americana* var. *oaxacensis* Gentry. El mezcal se comercializa de manera informal a granel entre MXN $150.00 y $250.00 por litro. Estas variaciones en la escala productiva responden a diferencias en el

acceso a la materia prima, capital y canales de comercialización; factores que también influyen en la presión sobre los recursos leñosos (Toribio-Solis et al., 2024).

En el contexto cultural, los productores realizan rituales de bendición de los hornos, y así integran el proceso productivo al patrimonio biocultural local. Esta práctica se efectúa con el propósito de tener la ayuda divina para lograr una producción de mezcal en cantidad adecuada y de alta calidad. La producción de mezcal constituye una actividad económica complementaria a la agricultura de subsistencia (maíz), además es fundamental para la economía familiar y local (Sánchez-Jiménez, 2024).

Identificación y distribución de especies dendroenergéticas

Se identificaron 15 especies arbóreas empleadas como fuente de leña en los procesos de cocción y destilación del mezcal (Cuadro 3). La distribución de taxones varió notablemente entre localidades. *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth. (tepeguaje) y *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé *ex* DC.) Benth. (guaje rojo) estuvieron presentes en dos y tres localidades, respectivamente; lo que evidenció una amplia adaptación ecológica y aceptación cultural. En contraste, especies como *Haematoxylum brasiletto* H. Karst. (palo de Brasil) y *Ziziphus mexicana* Rose (tepemezquite) solo se registraron en Mezquitlán, asociadas a condiciones ecológicas específicas de clima cálido subhúmedo y vegetación de selva baja espinosa (Cuadro 1), lo que sugiere una preferencia localizada o una disponibilidad restringida por condiciones ecológicas específicas (Flores-Villela & Gerez, 1994).

Cuadro 3. Especies dendroenergéticas identificadas en cuatro localidades de la Región Norte de Guerrero, México.

Familia	Nombre común Nombre científico	Núm. folio herbario UAGC	EC	AP	TM	MZ	Total
Fabaceae	Tepeguaje *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth.	15112, 115113	X	X			2
Fabaceae	Guaje rojo *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé *ex* DC.) Benth.	15117, 15115	X	X	X		3
Fabaceae	Mezquite *Lysiloma aff. microphyllum* Benth.	15097, 15118	X	X			2
Burseraceae	Copal *Bursera bipinnata* (Moc. & Sessé *ex* DC.) Engl.	15102, 15119	X				1
Convolvulaceae	Cazahuate *Ipomoea arborescens* (Humb. & Bonpl. *ex* Willd.) G. Don	115096	X				1
Fabaceae	Palo dulce *Eysenhardtia aff. polystachya* (Ortega) Sarg.	15108		X			1
Moraceae	Amate *Ficus aff. insipida* Willd.	15106	X				1
Malvaceae	Coahuilote *Guazuma ulmifolia* Lam.	15100		X			1
Fagaceae	Encino blanco *Quercus glaucoides* M. Martens & Galeotti	15107			X		1
Fabaceae	Pata de cabra *Lysiloma tergeminum* Benth.	15104, 15105			X	X	2
Fabaceae	Borrego *Senegalia acatlensis* (Benth.) Britton & Rose	15098, 15099			X	X	2
Fabaceae	Tehuiztle *Vachellia bilimekii* (J. F. Macbr.) Seigler & Ebinger	15109			X	X	2
Fabaceae	Guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.	15116			X	X	2
Rhamnaceae	Tepemezquite	15101				X	1

	Ziziphus mexicana Rose				
Fabaceae	Palo de Brasil *Haematoxylum brasiletto* H. Karst.	15103		X	1

EC = El Calvario; AP = Apetlanca; TM = Temalac; MZ = Mezquitlán.

La prevalencia de la familia Fabaceae en el norte de Guerrero (10 de las 15 especies registradas) confirma un patrón de aprovechamiento forestal que exhibe una marcada convergencia funcional con otras regiones mezcaleras del país. Al contrastar estos resultados con lo citado para Michoacán y Oaxaca, donde predomina el uso de leguminosas de los géneros *Lysiloma* y *Prosopis*, además de *Quercus* spp. (Torres-García & Delgado-Lemus, 2019), se evidencia que la selección del productor responde a una selectividad etnobotánica orientada a la optimización energética del proceso de destilación. Esta preferencia se fundamenta en atributos técnicos clave como la alta densidad de la madera, el elevado poder calorífico y la notable capacidad de rebrote de los taxones utilizados (Jiménez-Mendoza et al., 2023).

Bajo ese enfoque, la investigación trasciende el inventario regional para proponer un modelo en el que la calidad del mezcal artesanal y la sostenibilidad de la industria dependen directamente de la gestión técnica de la biomasa, eslabón crítico para mitigar la presión antrópica sobre los ecosistemas de selva baja caducifolia.

Importancia cultural y patrones de uso

Los índices etnobotánicos aplicados revelaron un gradiente de importancia cultural entre las especies (Cuadro 4). *Lysiloma acapulcense* obtuvo el mayor Índice de Valor de Uso (*IVU*=4.11) y Nivel de Uso Significativo *TRAMIL* (*UST*=58.75 %), seguido por *Leucaena esculenta* (*IVU*=3.37, *UST*=56.25 %). Dichos valores reflejan su uso frecuente y

multifuncional, ya que se registran hasta ocho usos diferentes por especie (combustible, forraje, madera, cercas vivas, postes, alimento, ritual y abono orgánico).

Cuadro 4. Usos de las especies empleadas como leña, Índice de Valor de Uso (*IUV*), Nivel de Uso Significativo (*UST*), Valor de Uso (*VU*) y Clasificación Matricial Directa (*CMD*).

Nombre común Nombre científico	Usos	Menciones	*IVU*	*UST* (%)	*VU*	*CMD*
Tepeguaje *Lysiloma acapulcense* (Kunth) Benth.	C, MA, CV, P, AO, F, CB	47	4.11	58.75	7	2
Guaje rojo *Leucaena esculenta* (Moc. & Sessé *ex* DC.) Benth.	C, MA, CV, P, F, CB	45	3.37	56.25	6	2
Mezquite *Lysiloma aff. microphyllum* Benth.	M, MA, CV, P, CB	20	1.25	25.00	5	3
Copal Bursera bipinnata (Moc. & Sessé *ex* DC.) Engl.	MA, CV, P, RI, CB	20	1.25	25.00	5	3
Cazahuate Ipomoea arborescens (Humb. & Bonpl. *ex* Willd.) G. Don	MA, CV, P, C, CB	17	1.06	21.25	5	3
Palo dulce *Eysenhardtia aff. polystachya* (Ortega) Sarg.	MA, CV, P, F, CB	17	1.06	21.25	5	1
Amate *Ficus aff. insipida* Willd.	MA, CV, P, F, CB	15	0.93	18.75	5	4
Coahuilote *Guazuma ulmifolia* Lam.	MA, CV, P, AO, CB	14	0.87	17.50	5	5
Encino blanco *Quercus glaucoides* M. Martens & Galeotti	MA, CV, P, AO, CB	11	0.87	13.75	5	9
Pata de cabra *Lysiloma tergeminum* Benth.	MA, CV, P, F, CB	10	0.87	12.50	5	1
Borrego *Senegalia acatlensis* (Benth.) Britton & Rose	MA, CV, P, CB	9	0.31	11.25	4	2
Tehuiztle Vachellia bilimekii (J. F. Macbr.) Seigler & Ebinger	MA, CV, P, CB	8	0.31	10.00	4	7

Guamúchil *Pithecellobium dulce* (Roxb.) Benth.	MA, CV, P, CB	8	0.31	10.00	4	8
Tepemezquite *Ziziphus mexicana* Rose	MA, CV, P, CB	7	0.31	8.75	4	6
Palo de Brasil *Haematoxylum brasiletto* H. Karst.	MA, CV, P, CB	6	0.31	7.50	4	1

C = Comestible; MA = Madera; CV = Cercas vivas; P = Postes; AO = Abono orgánico; F = Forraje; CB = Combustible; RI = Ritual.

La multifuncionalidad de las especies es un hallazgo consistente con estudios etnobotánicos en otras regiones rurales de México. López-Santiago et al. (2019) y Rodríguez-Hernández et al. (2024), también documentaron que los taxones leñosos valorados como combustible suelen tener usos complementarios en medicina tradicional, construcción y alimentación. Esta versatilidad incrementa su valor cultural y económico, pero puede intensificar la presión de aprovechamiento, requiriendo estrategias de manejo integrado.

El Valor de Uso (*VU*) varió entre siete (tepeguaje) y cuatro (especies como *palo de Brasil*). Valores altos de *VU* indican una concentración del uso en pocas especies, lo que, si no se acompaña de prácticas de manejo, podría conducir a la sobreexplotación local. Andrade-Limas et al. (2025) han documentado pérdidas de cobertura forestal asociadas al uso intensivo de encino en Tamaulipas, una advertencia aplicable al tepeguaje en Guerrero, si su extracción no se regula.

Heterogeneidad en la selectividad etnobotánica

El aprovechamiento de los recursos dendroenergéticos en el norte de Guerrero no es uniforme, pues se observa una marcada heterogeneidad tanto en el conocimiento tradicional, como en la intensidad de uso. La prueba de *Kruskal-Wallis* confirmó

diferencias altamente significativas en la riqueza de especies conocidas entre localidades (H=79.00; p<0.0001). Mientras que en El Calvario y Temalac se registró un promedio de 6.0 especies; en Apetlanca el conocimiento se limitó a 4.0. Esta disparidad sugiere una selectividad condicionada por la disponibilidad de taxones en el entorno inmediato (Torres-García & Delgado-Lemus, 2019).

Al comparar los resultados con otras regiones mezcaleras, el número de especies registradas en este estudio (15) es inferior a las 24 citadas para Michoacán o las más de 30 documentadas en los Valles Centrales de Oaxaca (Jiménez-Mendoza et al., 2023; Torres-García & Delgado-Lemus, 2019). No obstante, existe una convergencia funcional en la preferencia por la familia Fabaceae (*Lysiloma* spp., *Leucaena* spp. y *Prosopis* spp.). Esta predilección responde a criterios técnicos compartidos: alta densidad básica de la madera y un poder calorífico superior a 19 MJ kg^{-1} (Jiménez-Mendoza et al., 2023), atributos que garantizan la estabilidad térmica necesaria para la hidrólisis de los fructanos del agave.

Dinámica del consumo, escala productiva y eficiencia energética

La demanda energética presentó variaciones críticas entre comunidades (H=62.72; p<0.0001), con un intervalo entre 620.8 kg (El Calvario) y 1 290.6 kg (Mezquitlán) por ciclo. El análisis inferencial demostró que la escala de producción anual es el factor determinante en la presión sobre el recurso (H=14.15; p<0.001), ya que los productores de mayor volumen optan por taxones cuya madera tiene más densidad como *Quercus* spp. y *Lysiloma tergeminum* Benth. (pata de cabra), lo que genera una presión selectiva sobre sus poblaciones.

Un hallazgo crítico es el uso predominante de leña verde en al menos una de las etapas de producción de mezcal (90 %) frente a la seca (10 %; Figura 2). Aunque culturalmente

se valora por la liberación lenta de vapor, necesaria para el horneado de los tallos de agave; desde la termodinámica forestal esta práctica implica una severa pérdida de eficiencia. Gran parte de la energía liberada en la combustión se consume en el calor latente de evaporación del agua contenida en la madera fresca, ello reduce el valor calorífico neto y duplica la cantidad de biomasa requerida, en comparación con el uso de madera seca (Barrientos-Rivera et al., 2020). Asimismo, la combustión incompleta de leña verde incrementa la emisión de partículas suspendidas y compuestos orgánicos volátiles, que afecta la huella de carbono del mezcal artesanal.



A y B = Leña verde de encino y seca de distintas especies en Temalac; C = Preparación del horno con leña de tepeguaje y rocas en Temalac; D = Destilación en El Calvario.

Figura 2. Representación de tipos de leña y modo de uso en los procesos de cocción y destilación del mezcal.

Gobernanza, certificación y mercados sostenibles

La falta de relación de la propiedad de la fábrica (propia o rentada) en el consumo (p=0.98) confirma que la presión sobre los recursos es un desafío estructural que trasciende el estatus socioeconómico del productor. Actualmente, marcos como la NOM-070-SCFI-2016 (Secretaría de Economía [SE], 2017) centran la trazabilidad exclusivamente en el género *Agave* y se omite la gestión de los recursos dendroenergéticos, que constituyen el eslabón olvidado de la cadena productiva (SE, 2017; Torres-García & Delgado-Lemus, 2019).

Ante la creciente demanda de los mercados especializados por certificaciones de sustentabilidad, los índices de Valor de Uso (*IVU*) y el Nivel de Uso Significativo (*UST*) aquí documentados proporcionan una base técnica replicable para el diseño de planes de manejo forestal comunitario. La transición hacia mercados sostenibles requiere que la certificación del mezcal incluya la legal procedencia de la leña y la adopción de tecnologías más eficientes (como hornos mejorados) que permitan el uso de madera seca. Esto no solo alinearía la producción con las metas nacionales de transición energética, sino que permitiría a los productores de Guerrero acceder a nichos de mercado con mayor valor agregado basados en la trazabilidad socioambiental integral del producto (Jiménez-Mendoza et al., 2023; Corona-Terán & Rutiaga-Quiñones, 2025).

Conclusiones

La caracterización de la flora dendroenergética en el norte de Guerrero revela un conocimiento etnobotánico robusto, con la identificación de 15 especies maderables y predominio de la familia Fabaceae, debido a la alta densidad y poder calorífico de las especies utilizadas. No obstante, la investigación demuestra que este conocimiento no es homogéneo; la heterogeneidad espacial identificada mediante la prueba de *Kruskal-Wallis* confirma que el saber tradicional y la intensidad de uso están condicionados por la microrregión y la escala de producción de cada localidad. La cobertura de 50 % de la población total de productores otorga a estos resultados una alta representatividad y consolida una línea base sólida para la gestión de recursos forestales en el estado.

Desde una perspectiva de eficiencia energética, el uso predominante de leña verde (90 %) representa un desafío crítico para la sostenibilidad de la cadena productiva. Esta práctica, común en diversas regiones mezcaleras del país, genera una pérdida energética significativa por calor latente de evaporación, incrementando la presión antrópica sobre la selva baja caducifolia al demandar mayores volúmenes de biomasa para compensar la ineficiencia térmica. Dicho hallazgo subraya el hecho de que la sostenibilidad del mezcal no debe limitarse únicamente a la gestión del género *Agave*, sino que requiere integrar, de manera obligatoria, la trazabilidad y el manejo del recurso dendroenergético.

Finalmente, en el contexto nacional, los resultados evidencian la urgencia de actualizar los marcos normativos, como la NOM-070-SCFI-2016, para que incorporen criterios de certificación de energía limpia o sustentable. La alta dependencia de fábricas arrendadas (66 %) sugiere que las políticas de conservación deben enfocarse en esquemas de manejo forestal comunitario y viveros locales de especies nativas (como el tepeguaje y el guaje rojo), para garantizar que el auge global del mezcal no se traduzca en una degradación irreversible de los ecosistemas forestales que sostienen su identidad biocultural.

Agradecimientos

Los autores agradecen a los productores participantes de las localidades de estudio que hicieron posible este trabajo de investigación. La primera autora agradece la beca otorgada por la Secretaría de Ciencia, Humanidades, Tecnología e Innovación (Secihti) para la realización de sus estudios de Maestría. Los autores expresan su agradecimiento a los revisores anónimos por sus valiosas observaciones y sugerencias, las cuales contribuyeron significativamente a mejorar la calidad y claridad de este manuscrito.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no hay conflicto de intereses que sustentan las contribuciones, de modo que los datos publicados les otorguen ventajas de tipo profesional, laboral o económica.

Contribución por autor

Viridiana Álvarez González: trabajo de campo, recopilación de datos y redacción principal del trabajo; Héctor Ramón Segura Pacheco: concepción del estudio, supervisión general del trabajo, análisis estadístico; Elías Hernández Castro: revisión del manuscrito, recorridos de campo; Natividad D. Herrera Castro: validación metodológica, apoyo taxonómico, procesamiento, manejo e identificación de ejemplares vegetales; Eduardo Sánchez Jiménez: diseño inicial y revisión final; Jorge Huerta Zavala: idea del estudio, trabajo de campo, redacción del manuscrito.

Referencias

Andrade-Limas, E. del C., Navarro-López, V., Treviño-Carreón, J., Ventura-Houle, R., & Macías-Hernández, B. A. (2025). Impacto ecológico por el uso de leña en una comunidad de alta montaña en Tamaulipas, México. *Agricultura, Sociedad y Desarrollo*, *22*(1), 1-18. https://doi.org/10.22231/asyd.v22i1.1435

Barrientos-Rivera, G., Hernández-Castro, E., Sampedro-Rosas, M. L., & Segura-Pacheco, H. R. (2020). Conocimiento tradicional y academia: productores de maguey y mezcal de pequeña escala en las regiones Norte y Centro de Guerrero, México. *Sociedad y Ambiente*, (23), 1-28. https://doi.org/10.31840/sya.vi23.2173

Boulogne, I., Germosén-Robineau, L., Ozier-Lafontaine, H., Fleury, M., & Loranger-Merciris, G. (2011). TRAMIL ethnopharmalogical survey in Les Saintes (Guadeloupe, French West Indies): A comparative study. *Journal of Ethnopharmacology*, *133*(3), 1039-1050. https://doi.org/10.1016/j.jep.2010.11.034

Consejo Nacional de Población. (2021, 4 de octubre). *Índices de marginación por localidad 2020*. Gobierno de México. https://www.gob.mx/conapo/documentos/indices-de-marginacion-2020-284372

Corona-Terán, J., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2025). La leña: tradición energética, impactos ambientales y alternativas sostenibles. *Tendencias en Energías Renovables y Sustentabilidad*, *4*(1), 130-134. https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.475

Flores-Villela, O., & Gerez, P. (1994). *Biodiversidad y conservación en México: vertebrados, vegetación y uso del suelo*. Universidad Nacional Autónoma de México. https://bioteca.biodiversidad.gob.mx/janium/Documentos/16.pdf

García-Maceda, G. (2024). *Leucaena esculenta: su percepción en la cultura Ngiwa y la caracterización fisicoquímica del extracto proteico* [Tesis de Doctorado en Ciencias Agroalimentarias, Universidad Autónoma Chapingo]. Repositorio Chapingo. https://repositorio.chapingo.edu.mx/server/api/core/bitstreams/ad0eed5e-a773-4596-9e9f-4fe884e0a51d/content

Hernández-Sampieri, R. (2014). Selección de la muestra. En R. Hernández-Sampieri, C. Fernández-Collado & P. Baptista-Lucio (Coords.), *Metodología de la investigación*

(6ta ed., pp. 170-195). McGraw-Hill Interamericana. https://apiperiodico.jalisco.gob.mx/api/sites/periodicooficial.jalisco.gob.mx/files/metodologia_de_la_investigacion_-_roberto_hernandez_sampieri.pdf

International Business Machines. (2022, September 16). *SPSS Statistics for Windows Available for Download* (Version 25) [Software]. IBM SSPS Statistics. https://www.ibm.com/support/pages/downloading-ibm-spss-statistics-25

Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Climatología. Geografía y Medio Ambiente*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. https://www.inegi.org.mx/temas/climatologia/

Jiménez-Mendoza, M. E., Ruiz-Aquino, F., Aquino-Vásquez, C., Santiago-García, W., Santiago-Juárez, W., Rutiaga-Quiñones, J. G., & Fuente-Carrasco, M. (2023). Aprovechamiento de leña en una comunidad de la Sierra Sur de Oaxaca, México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *14*(76), 22-49. https://doi.org/10.29298/rmcf.v14i76.1300

Libert-Amico, A., Duchelle, A. E., Cobb, A., Peccoud, V., & Djoudi, H. (2024). *Adaptación basada en los bosques: adaptación transformadora a través de los bosques y los árboles*. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. https://doi.org/10.4060/cc2886es

López-Santiago, A. A., López-Santiago, M. A., Cunill-Flores, J. M., & Medina-Cuéllar, S. E. (2019). Valor socioeconómico de las plantas para una comunidad indígena Totonaca. *Interciencia*, *44*(2), 94-100. https://www.redalyc.org/journal/339/33958304008/33958304008.pdf

Marín-Corba, C., Cárdenas-López, D., & Suárez-Suárez, S. (2005). Utilidad del valor de uso en etnobotánica. Estudio en el departamento de Putumayo (Colombia). *Caldasia*, *27*(1), 89-101. http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0366-52322005000100004

Martin, G. J. (2004). *Ethnobotany. A methods manual*. Routledge. https://doi.org/10.4324/9781849775854

Olea-Reséndiz, M. de J., Segura-Pacheco, H. R., Herrera-Castro, N. D., & Barrera-Catalán, E. (2022). Cultural importance of trees among six rural communities in

Guerrero, México. *Revista Etnobiología*, *20*(3), 31-45. https://www.revistaetnobiologia.mx/index.php/etno/article/view/513

Pennington, T. D., & Sarukhán, J. (2005). *Árboles tropicales de México: manual para la identificación de las principales especies* (3ra ed.). Universidad Nacional Autónoma de México, Fondo de Cultura Económica. https://books.google.com.mx/books?id=hhzDlRLm5UUC&hl=es&source=gbs_book_other_versions

Rodríguez-Hernández, R., Castellanos-Bolaños, J. F., Contreras-Hinojosa, J. R., Ruiz-Ríos, T. N., & García-Sibaja, M. (2024). Valor cultural de especies arbóreas con potencial para restaurar sistemas agroforestales con Agave en Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, *15*(85), 4-26. https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i85.1473

Romero-Carazas, R., Mayta-Huiza, D., Ancaya-Martínez, M. del C. E., Tasayco-Barrios, S., & Berrio-Quispe, M. L. (2024). *Método de investigación científica: Diseño de proyectos y elaboración de protocolos en las Ciencias Sociales*. Instituto de Investigación y Capacitación Profesional del Pacífico. https://doi.org/10.53595/eip.012.2024

Sánchez-González, A., & González-Ledesma, M. (2007). Técnicas de recolecta de plantas y herborización. En A. Contreras-Ramos, C. Cuevas-Cardona, I. Goyenechea & U. Iturbe (Eds.), *La sistemática, base del conocimiento de la biodiversidad* (pp. 123-133). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/productos/6082/Capitulo12.pdf

Sánchez-Jiménez, E. (2024). El Maguey Mexiquense: patrimonio biocultural y sustentabilidad en el aprovechamiento de una planta ancestral y bien común. *Revista Veritas de Difusão Científica*, *5*(3), 1982-2011. https://doi.org/10.61616/rvdc.v5i3.327

Secretaría de Economía. (2017, 23 de febrero). *Norma Oficial Mexicana NOM-070-SCFI-2016, Bebidas alcohólicas-Mezcal-Especificaciones*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5472787&fecha=23/02/2017#gsc.tab=0

Toribio-Solis, V. M., Moreno-Ramírez, Y. del R., & Rocandio-Rodríguez, M. (2024). Agricultura de subsistencia en las zonas de influencia de las áreas naturales protegidas en Tamaulipas. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *11*(2), 186-192. https://doi.org/10.60158/rma.v11i2.436

Torres-García, I., & Delgado-Lemus, A. M. (2019). Recursos naturales para la producción tradicional de mezcal: más allá de los agaves. En A. Cruz-Angón, K. C. Nájera-Cordero, & E. D. Melgarejo (Coords.), *La biodiversidad en Michoacán. Estudio de Estado 2*, *Volumen III* (pp. 179-180). Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. https://www.researchgate.net/profile/Ignacio-Torres-Garcia/publication/339831680_Estudio_de_caso_Recursos_naturales_para_la_produccion_tradicional_de_mezcal_mas_alla_de_los_agaves/links/5e6826f0299bf1744f72b425/Estudio-de-caso-Recursos-naturales-para-la-produccion-tradicional-de-mezcal-mas-alla-de-los-agaves.pdf

Zambrano-Intriago, L. F., Buenaño-Allauca, M. P., Mancera-Rodríguez, N. J., & Jiménez-Romero, E. (2015). Estudio etnobotánico de plantas medicinales utilizadas por los habitantes del área rural de la Parroquia San Carlos, Quevedo, Ecuador. *Universidad y Salud*, *17*(1), 97-111. http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v17n1/v17n1a09.pdf

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.