UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

# JEEOS

## Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability

2026



Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 04-2026-050410175100-102. ISSN: 2448-8186

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.http://www.1atindex.unam.mx/ JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 10, No. 3, Año 2026, es una publicación continúa editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2026-050410175100-102, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 15 de diciembre 2026.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

JEEOS

UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

# Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

**Transformación material en la vivienda chontal, caso de estudio: Huimango, Cunduacán, Tabasco** 1-12
Campos-de Dios P.C.[1*], Govea-Ek A.[1]

**Inhibición de corrosión en acero API 5L-X52 mediante extracto etanólico de *Tradescantia spathacea Sw*** 13-25
Estrada-Hernández G. V., Figueroa-Ramírez S.J.[*], Sierra-Grajeda J.M.T., Santis Espinosa L.F., Benavides O., De la Cruz-May L

**Efecto de las nanoparticulas metálicas sobre el crecimiento de la microalga *Coelastrella sp.* para la producción de biocombustible** 26-37
Santis-Espinosa L.F[1*], Figueroa-Ramírez S.J.[1], Vargas-Estrada L.[2], López-Vidaña E.C.[3]

**Influence of dopant material on a silicone polymer subjected to low-pressure air plasma treatments** 38-52
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Paredes-Olguín M.[2], Avelar-Domínguez F.[1], Gadea-Pacheco J.L.[1], Sandoval-González A.[3]

**Cambio en la producción de potencia empleando $Na_2SO_4$ en el cátodo de una celda de combustible microbiana** 53-60
Fuentes-Albarrán M. del C.[1]*, Alarcón-Hernández F.B.[1], Cornejo-Tapia C.P.[1], Sandoval-González A.[2]

**Estudio exploratorio del contenido de etanol en la pulpa de la T*hevetia peruviana* (Pers.) K. Schum en Yucatán, México** 61-79
Koh-Echeverría L.E.[1], Amado-Méndez K.[2], Díaz-Ballote, L.F.J.[2], Herrera-Zamora, D.M.[2]*

**Determinación de carbohidratos por HPLC: comparación de detectores UV-Vis *vs* índice de refracción** 80-93
Fernández-Orozco I.V.[1], Grijalva-Haro M.I.[2], Madrigal-Diaz S.C.[1], Ojeda-Morales M.E.[1], Díaz-Reyes C.C.[1], García-López S.[1], Juárez-Zirate S.J.[3]*

**Efecto de un plasma pulsado de aire en las propiedades superficiales de caucho butílico** 94-103
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Garay-Galicia J.A.[1], Sandoval-Gonzáles A.[2]

**Estudio del tiempo de fraguado en pastas de cemento con sustitución parcial por biocemento de ostión** 104-116
Segundo-Díaz T. de J.[1], Mora-Ortiz R.S.[1]*, Díaz-Alvarado S.A.[1], Ramón-de los Santos C. [2]

**Estudio teórico de un captador solar de aire con y sin material de cambio de fase** 117-128
Álvarez-Alor B.[1*], Cruz-Valdez J. A. [2], Montalvo D. [3], López-Santos F.[1], Alvarado-Méndez P. E.[4], Zetina-Ríos I. I.[5].

# Estudio exploratorio del contenido de etanol en la pulpa de la T*hevetia peruviana* (Pers.) K. Schum en Yucatán, México

# Exploratory study of the ethanol content in the pulp of *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum in Yucatán, México

Koh-Echeverría L.E.[1], Amado-Méndez K.[2], Díaz-Ballote, L.F.J.[2], Herrera-Zamora, D.M.[2]*

[1]Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, 97100.
[2]Cinvestav-Unidad Mérida, Departamento de Física Aplicada, Yucatán, México, 97310.
*Carretera Antigua a Progreso KM. 6, C.P. 97310, Mérida, Yucatán; México
*dallely.herrera@cinvestav.mx

**Artículo Científico**
**Publicado: 15 de diciembre 2026**

## RESUMEN

La búsqueda de fuentes de energía renovable ha impulsado el aprovechamiento de la biomasa lignocelulósica, que es una fuente renovable prometedora para producir biocombustibles como bioetanol y biodiésel, gracias a su abundancia, bajo costo y porque no compite con cultivos alimentarios. Entre especies poco estudiadas, la *Thevetia peruviana* destaca como una alternativa potencial para la producción de bioetanol a partir de residuos vegetales.

El objetivo de este estudio fue caracterizar la biomasa lignocelulósica del fruto de *Thevetia peruviana* y evaluar su viabilidad como fuente alternativa para la producción de bioetanol. Los frutos se sometieron a secado natural durante 10 días y posteriormente a secado en horno durante 8 h. El pericarpio y la semilla se separaron, trituraron y tamizaron de forma independiente, para después aplicar un pretratamiento hidrolítico con $H_2SO_4$ al 4%. La fermentación se realizó con *Saccharomyces cerevisiae* durante 14 días.

Los resultados mostraron que el fruto presenta un comportamiento térmico característico de materiales lignocelulósicos. El pericarpio molido (PM) presentó mayor contenido de hemicelulosa, mientras que la semilla molida (SM) mostró mayor proporción de celulosa y lignina. El análisis FTIR evidenció diferencias espectrales respecto al etanol puro, probablemente asociadas al carácter diluido del medio. Además, el análisis elemental reveló carbono de 71.74% en el pericarpio y 50.62% en la semilla. Estos resultados sugieren que el pericarpio constituye la fracción más favorable para la producción de bioetanol, aunque se requiere optimizar las condiciones del proceso para incrementar su rendimiento.

**Palabras clave**: Thevetia peruviana; Biocombustible; Bioetanol; Biomasa lignocelulósica; Celulosa.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

## ABSTRACT

The search for renewable energy sources has driven the use of lignocellulosic biomass, a promising renewable source for producing biofuels such as bioethanol and biodiesel, thanks to its abundance, low cost, and the fact that it does not compete with food crops. Among the less studied species, *Thevetia peruviana* stands out as a potential alternative for bioethanol production from plant waste.

The objective of this study was to characterize the lignocellulosic biomass of *Thevetia peruviana* fruit and evaluate its viability as an alternative source for bioethanol production. The fruits were subjected to natural drying for 10 days and subsequently oven drying for 8 hours. The pericarp and seed were separated, crushed, and sieved independently, followed by a hydrolytic pretreatment with 4% $H_2SO_4$. Fermentation was carried out with *Saccharomyces cerevisiae* for 14 days.

The results showed that the fruit exhibits thermal behavior characteristic of lignocellulosic materials. The ground pericarp (PM) had a higher hemicellulose content, while the ground seed (SM) showed a higher proportion of cellulose and lignin. FTIR analysis revealed spectral differences compared to pure ethanol, likely due to the dilute nature of the medium. Furthermore, elemental analysis revealed carbon content of 71.74% in the pericarp and 50.62% in the seed. These results suggest that the pericarp is the most favorable fraction for bioethanol production, although process conditions need to be optimized to increase its yield.

**Keywords:** Thevetia peruviana; Biofuel; Bioethanol; Biomass lignocellulose; Cellulose.

## INTRODUCCION

Una de las principales causas del incremento en la demanda energética mundial es el crecimiento poblacional y el acelerado proceso de industrialización. Actualmente, los combustibles fósiles continúan siendo la principal fuente de energía; sin embargo, su uso intensivo y la disminución progresiva de sus reservas representan una preocupación global [1, 2]. Desde el inicio de la Revolución Industrial, las emisiones de dióxido de carbono ($CO_2$) han aumentado de manera significativa, principalmente como consecuencia de la quema de combustibles fósiles [3, 4]. Esta tendencia ha intensificado los efectos del cambio climático, provocando alteraciones en los ecosistemas, incremento de la temperatura global y afectaciones al equilibrio ecológico y a la biodiversidad [5, 6].

La demanda mundial de energía, especialmente de combustibles líquidos, continúa en constante crecimiento. En 2007, el consumo global alcanzó cerca de 12 billones de toneladas equivalentes de petróleo (TEP), incrementándose a 13.3 billones de TEP en 2015 [7]. De manera similar, el consumo de petróleo pasó de aproximadamente 70 millones de barriles diarios en 1995 a más de 90 millones de barriles por día hacia finales de 2020 [8]. En México, esta dependencia es aún más evidente, ya que el 88.5% de la energía primaria proviene del petróleo y gas natural, mientras que únicamente el 7% corresponde a fuentes renovables [9].



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

Ante este panorama, resulta indispensable el desarrollo de alternativas energéticas sostenibles que permitan disminuir la dependencia de los combustibles fósiles y mitigar sus impactos ambientales. En este contexto, la biomasa se posiciona como una fuente renovable con alto potencial, debido a su amplia disponibilidad, bajo costo y posibilidad de aprovechamiento local [10]. La biomasa se define como materia orgánica proveniente de árboles, plantas y residuos animales con capacidad de transformarse en energía. Puede originarse a partir de residuos agrícolas, como rastrojos, ramas, aserrín y corteza, así como de residuos urbanos, incluyendo aguas residuales y desechos orgánicos [11]. Su composición está constituida principalmente por celulosa, hemicelulosa y lignina, compuestos fundamentales para la producción de biocombustibles [12].

La biomasa lignocelulósica se considera especialmente atractiva para la producción de biocombustibles de segunda generación, ya que no compite con cultivos destinados a la alimentación y permite valorizar residuos agrícolas y forestales [13 - 16]. Su contenido energético proviene de la energía solar captada por los vegetales mediante la fotosíntesis, la cual puede transformarse en energía útil a través de procesos termoquímicos, fisicoquímicos y biológicos [13, 14]. En particular, la producción de bioetanol a partir de biomasa lignocelulósica se basa en la liberación de azúcares fermentables derivados de la celulosa y hemicelulosa, lo que convierte a este tipo de biomasa en una alternativa viable y sostenible para la transición energética [17].

Dentro de las especies vegetales con potencial energético poco explorado se encuentra *Thevetia peruviana* (Pers.) K. Schum, una especie nativa de regiones tropicales y subtropicales de América, distribuida en países como Brasil, México, diversas islas del Caribe y Bahamas, así como en regiones de Asia como India y Sri Lanka [18]. En México, se encuentra ampliamente distribuida en zonas tropicales y subtropicales de estados como Campeche, Chiapas, Guerrero, Oaxaca, Veracruz y Yucatán, entre otros [19, 20].

El aprovechamiento de plantas autóctonas como *Thevetia peruviana* representa una estrategia relevante para el desarrollo de biocombustibles sostenibles, ya que estas especies se encuentran naturalmente adaptadas a las condiciones edafoclimáticas locales, presentan menores requerimientos de agua, nutrientes e insumos agrícolas, y pueden desarrollarse en suelos marginales no aptos para cultivos alimentarios [21]. Esto reduce los costos de producción, minimiza la competencia por recursos agrícolas y fortalece la sostenibilidad del sistema energético. Además, al tratarse de una especie no comestible, no compromete la seguridad alimentaria de las comunidades locales. En Yucatán, *Thevetia peruviana* crece de forma espontánea en áreas urbanas, periurbanas y rurales, lo que facilita su recolección y aprovechamiento sin requerir establecimiento de cultivos intensivos [19 - 22]. Esta característica no solo favorece su disponibilidad como materia prima, sino que también contribuye a la valorización de recursos vegetales regionales y al impulso de esquemas de bioeconomía local.

Diversos estudios han reportado el potencial energético de *Thevetia peruviana* para la producción de biodiésel a partir del aceite contenido en su semilla [23, 24]. Sin embargo, existen escasos estu-



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

dios enfocados en el aprovechamiento de su biomasa lignocelulósica para la producción de bioetanol, a pesar de su abundancia y disponibilidad. La toxicidad de la especie ha limitado su uso en otras aplicaciones productivas, pero al mismo tiempo representa una ventaja al evitar su competencia con cadenas alimentarias. Esta situación evidencia una oportunidad de investigación orientada a la valorización integral de una biomasa no alimentaria y subutilizada, ampliando el espectro de materias primas empleadas en la producción de biocombustibles renovables.

En consecuencia, el objetivo de este trabajo fue evaluar el potencial de *Thevetia peruviana* como materia prima para la producción de bioetanol, mediante la caracterización de su biomasa lignocelulósica y el análisis de su comportamiento durante los procesos de hidrólisis y fermentación, con el fin de determinar su viabilidad como fuente alternativa de biocombustible.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**1. Área de estudio.** La presente investigación se realizó en el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional, Unidad Mérida ubicado en Carretera-Mérida - Progreso, Loma Bonita, Mérida, Yucatán. La caracterización de la biomasa lignocelulósica se realizó en el Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales (LANNBIO) del Departamento de Física Aplicada.

**2. Recolección.** La recolección de frutos maduros de *T. peruviana* se realizó en tres localidades urbanas de Mérida Yucatán: (i) Paseo Verde, sobre la calle 26 cerca del Módulo de Servicio Peek Park de Los Paseos, (ii) Yaaxtal - Guardaparques De Mérida ubicado en la calle 132; (iii) el Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional (Cinvestav), Unidad Mérida. La selección de estos sitios respondió a su accesibilidad para la recolección de material vegetal (***Figura 1***).

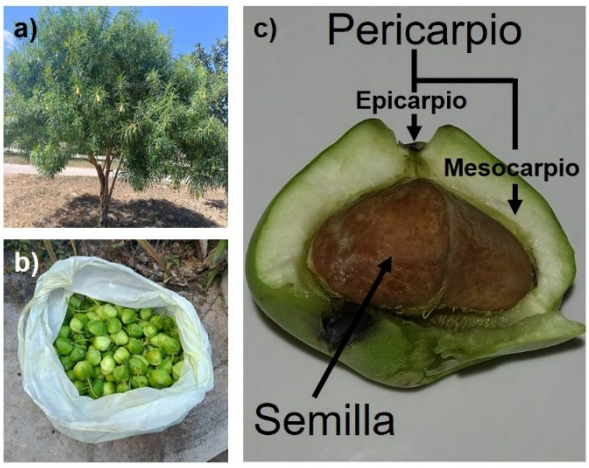



**Figura 1.** Recolección de Thevetia peruviana: a) árbol de Thevetia peruviana, b) frutos y c) corte de fruto mostrando el pericarpio y la semilla.



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

**3. Pretratamiento térmico.** Se realizaron tres tipos de muestras de *T. peruviana*, la primera muestra (PT) consistió en recolectar frutos y someterlos a un secado al sol durante un período de 10 días, protegidos en una jaula para evitar la depredación. Durante este proceso, los frutos estuvieron expuestos a temperaturas ambientales fluctuantes entre 33°C y 36°C, con una humedad relativa de 70.8%. Posteriormente, tras la reducción natural del contenido de humedad, las muestras se sometieron a un secado a horno (TERLAB) a 80°C durante 10 horas con el objetivo de minimizar la humedad residual y optimizar el procedimiento mecánico posterior.

**4. Pretratamiento mecánico y selección de partícula.** El material vegetal fue procesado mediante molienda, con la finalidad de disminuir el tamaño de partícula y aumentar el área de contacto entre la biomasa y los reactivos, favoreciendo el proceso de hidrólisis. Tanto la semilla como el pericarpio fueron molidos de manera separada en un molinillo (modelo 81402, marca REDLEMON), y una malla de 74 µm para el pericarpio (PM), y de 707 µm para la semilla (SM) de acuerdo con el tamaño de partícula requerido para cada fracción. Las muestras obtenidas fueron destinadas a los análisis posteriores y al pretratamiento químico.

**5. Pretratamiento químicos.** Se preparó una solución de ácido sulfúrico ($H_2SO_4$) al 4% v/v. Posteriormente, a 50 g de biomasa de SM y PM se añadió dicha solución y las mezclas se sometieron a calentamiento con agitación constante de 125 rpm, manteniéndose a 60°C durante 120 minutos. Seguidamente, se ajustó el pH de cada mezcla en intervalo de 3-4 mediante la adición de hidróxido de potasio (KOH), previo a la inoculación con *Saccharomyces cerevisae*. Finalmente, los sistemas se dejaron fermentar durante 14 días.

**6. Análisis Termogravimétricos y de Calorimetría Diferencial de Barrido (TGA/DTG).** Los análisis de termogravimetría se realizaron en un TGA (Discovery de TA Instruments), en presencia de oxígeno con un barrido de temperaturas de 30°C a 900°C a una velocidad de calentamiento continuo de 10°C/min.

**7. Análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).** Los análisis se realizaron en un Espectrómetro Infrarrojo (630 Agilent Cary FT-IRb) con un barrido espectral desde los 500 a 4500 $cm^{-1}$.

**8. Microscopio Electrónico de Barrido (SEM) y Espectroscopía de Rayos X por Dispersión de Energía (EDS).** Para la caracterización, se utilizó un Microscopio Electrónico de Barrido de Emisión de Campo (JEOL modelo JSM-7600F) y las muestras se les aplicó un recubrimiento con Au/Pd durante 40 segundos.

**9. Resonancia Magnética Nuclear (RMN).** Para la preparación de las muestras, a cada 500 µl se agregaron 200 ul de agua deuterada ($D_2O$), así como nicotinamida (referencia interna) y TSP (referencia de desplazamiento químico). Se sonicaron hasta obtener una disolución transparente y se transfirieron a tubos de 5 mm. El análisis de 1H-RMN se realizó con 64 scans (4 min).



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

**1. Análisis Termogravimétrico (TGA/DTG).** El análisis termo-gavimétrico (TGA) permitió evaluar el comportamiento térmico de las muestras sometidas a pretratamiento físico y térmico. En el caso de la muestra SM (***Figura 2***) se identificaron tres rangos de temperatura de pérdida de biomasa. El primer rango de temperatura comprendido entre 30°C-150°C obtuvo una pérdida de masa de 0.56 mg (5.19%) con un máximo de degradación a 64.06°C, atribuible principalmente a la eliminación de humedad y compuestos volátiles de bajo peso molecular. Posteriormente, en el intervalo de 150°C-390°C se registró una pérdida de masa de 6.66 mg (62.04%) y tuvo un máximo de 336.23°C correspondiente a la degradación térmica de hemicelulosa y celulosa. Finalmente, en el último rango de temperatura de 390°C-550°C, en la cual se registró la pérdida de 3.52 mg (32.77%) con un máximo de temperatura de 448.62°C. asociada principalmente a la descomposición de la lignina y a procesos de carbonización residual.

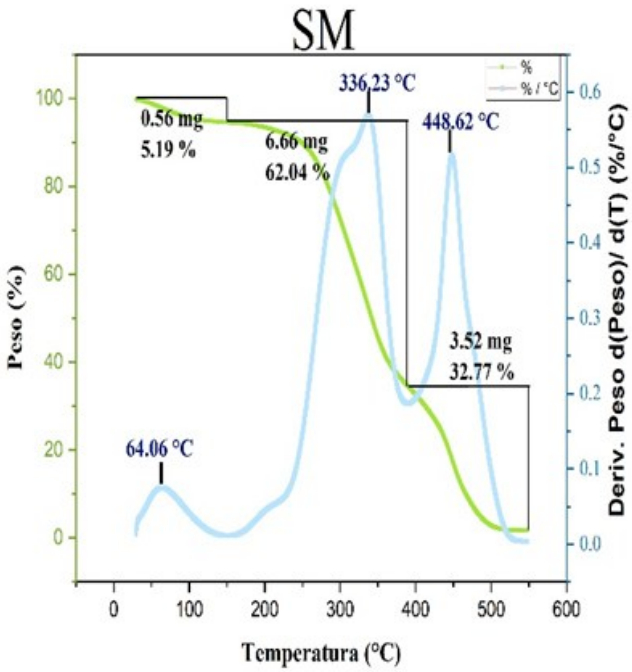



**Figura 2.** TGA/DTG de la semilla con su pretratamiento térmico del fruto de T. peruviana.

Por otra parte, la muestra PM (***Figura 3***) mostró un comportamiento térmico más complejo, identificándose cinco rangos de temperatura.

En el primer intervalo, de 30°C-130°C presentó una pérdida de masa de 0.67 mg (6.74%) y un máximo de 55.95°C atribuida a la eliminación de humedad adsorbida y compuestos volátiles. El segundo rango de temperatura de 130°C-230°C se registró una pérdida de 3.57 mg (35.88%) con un máximo de 184.79°C asociada principalmente a la degradación inicial de hemicelulosa y componentes amorfos de la biomasa. Para el tercer y cuarto rango (230°C-390°C, 390°C-470°C) [25, 26], las pérdidas de masa fueron de 3.00 mg (30.18%) con un máximo de 304.94°C y 1.70 mg



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

(17.06%) con máximo de 459.86°C, respectivamente. Estos eventos térmicos se asocian principalmente con la degradación progresiva de la celulosa y la descomposición de fracciones más resistentes de lignina. Finalmente, el quinto rango de temperatura tuvo una degradación de 1.00 mg (10.14%) y un máximo de 490.57°C atribuida a la descomposición de estructuras lignínicas altamente condensadas y a procesos de carbonización residual (biocarbón), qué tiene potencial para aplicaciones como combustible sólido, absorbente para la remediación ambiental, carbón activado para fines de purificación, catalizador en procesos químicos y como componente en celdas de combustible para la generación de energía [27, 28].

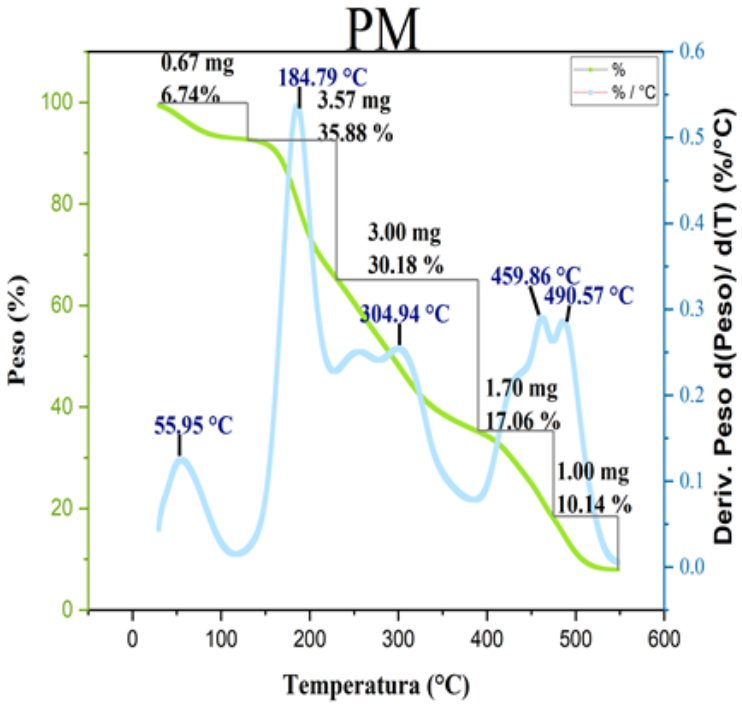



**Figura 3.** TGA/DTG del pericarpio con su pretratamiento térmico del fruto de T. peruviana.

En las curvas DTG, SM en el rango de temperatura de 30°C-150°C presentó una pérdida de humedad y degradación de compuestos volátiles, para el segundo rango de 150°C-390°C corresponde a la degradación de celulosa, demostrando mayor contenido que PM debido a la composición de la semilla, qué está formada mayormente por fibras de celulosa [29]. Por último, en el rango de temperatura de 390°C-550 se observa la degradación de la lignina. En comparación con la muestra de PM, la muestra de SM presentó mayor contenido de lignina, lo cual puede atribuirse a que la presencia de capas más densas en la semilla, responsables de su carácter leñoso y endurecido, y asociadas a una mayor concentración de sustancias cerosas, cutina y lignina [30]. Por otra parte, en la muestra PM se observó un comportamiento térmico similar. Para el primer rango de temperatura de 30°C-130°C se evidenció la pérdida de humedad y degradación de compuestos volátiles. No obstante, en el siguiente rango de temperatura (130°C-230°C) se reflejó la degradación de hemicelulosa, debido, lo cual concuerda con el mayor contenido relativo de este



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

polímero en el pericarpio en comparación a la semilla [31]. La degradación de celulosa ocurrió en el rango de temperatura de 230°C-390°C y la de la lignina en 390°C-470°C, evidenciando un menor contenido respecto a SM por su composición lignocelulósica [27, 32].

**2. Análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR).** Los espectros FTIR de PM y SM observados en la ***Figura 4*** muestran diferencias en las composiciones lignocelulósicas. En el rango del número de onda alrededor de 1017 $cm^{-1}$, hay mayor estiramiento de C-O para el pericarpio. De manera similar, se registra una mayor transmitancia asociada a los enlaces C-O-C y C-H (1247 $cm^{-1}$ y 1371 $cm^{-1}$), respectivamente, lo que indica mayor contenido lignocelulósico y de otros componentes orgánicos en comparación con la muestra SM [33, 34]. La banda correspondiente al enlace C-C (1596 $cm^{-1}$) presenta una menor intensidad en la muestra SM, lo que sugiere una menor contribución de estructuras aromáticas [35]. Asimismo, la presencia del enlace C-H observado en 2917 $cm^{-1}$ es menos pronunciado en SM [36]. Finalmente, las bandas anchas de O-H (3297 $cm^{-1}$) presentes en ambas muestras confirman la abundancia de grupos hidroxilo, sin embargo, la mayor intensidad observada en la muestra PM sugiere un mayor contenido de polisacáridos y grupos funcionales hidroxilados [37; 38]. Dichos resultados, difieren de los reportados por Tiwari, *et al.* (2023) [27], quienes observaron estiramientos similares, sin embargo, para el pericarpio se reportó un estiramiento y anchura de banda mayor del grupo O-H (3289 $cm^{-1}$). La diferencia de resultados probablemente se debe a la diferencia de tamaño de partícula empleado en el presente estudio, así como las variaciones en las propiedades fisicoquímicas de las muestras.

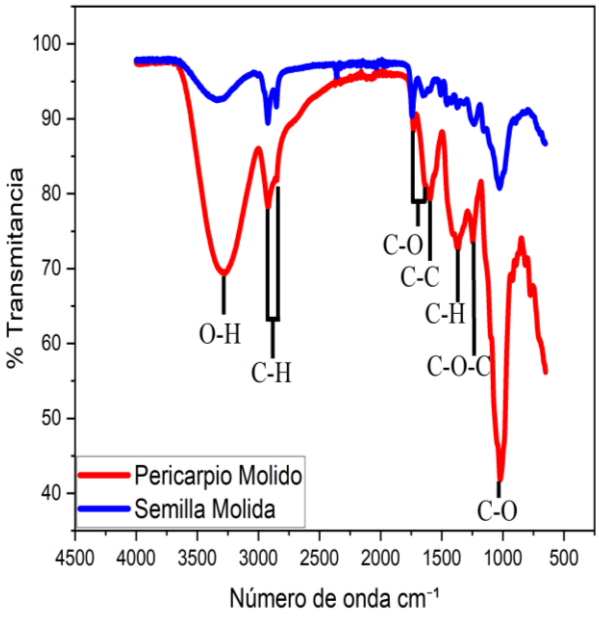



**Figura 4.** Espectro FTIR del pericarpio y semilla molida del fruto de Thevetia peruviana.

Las gráficas de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) corresponden a las muestras del pericarpio destilado (***Figura 5***) y semilla destilada (***Figura 6***), comparados con el



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

espectro de etanol puro. En el espectro de etanol se identificaron bandas pertenecientes a los grupos O-H, C-H y C-O. El estiramiento del grupo O-H se observó alrededor de 3366 $cm^{-1}$, mientras que los estiramientos de C-H se localizaron a 2890 $cm^{-1}$ y 2980 $cm^{-1}$ y C-O (1048 $cm^{-1}$, 1092 $cm^{-1}$, 1229 $cm^{-1}$, 1384 $cm^{-1}$ y 1706 $cm^{-1}$) indicando la presencia de etanol [39-41].

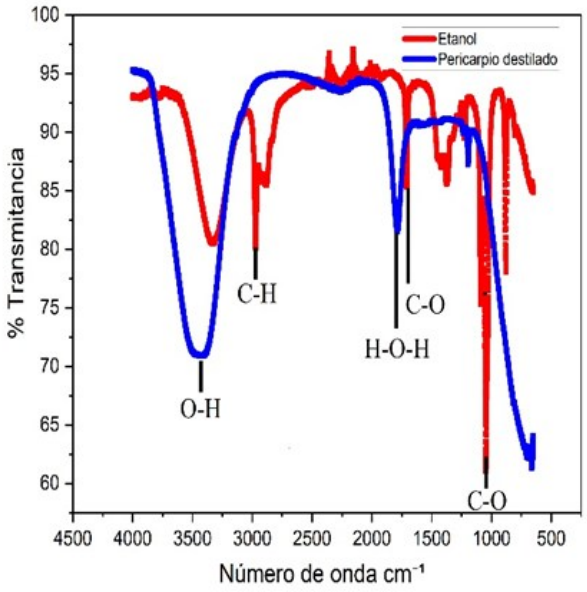



**Figura 5.** Espectro FTIR del pericarpio destilado de Thevetia peruviana.

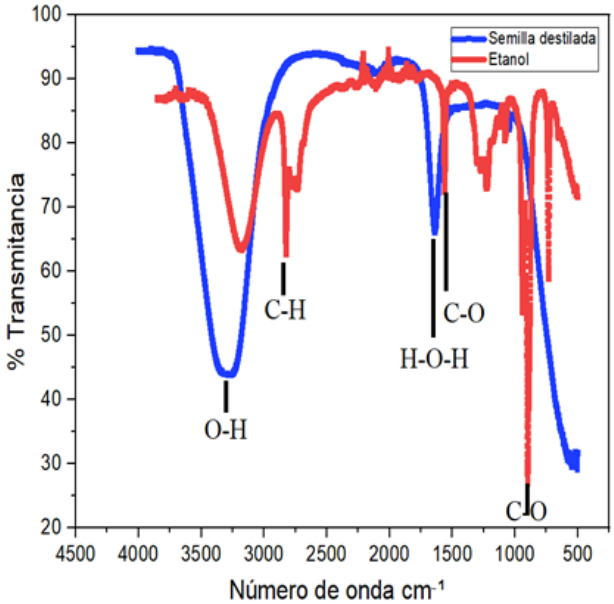



**Figura 6.** Espectro FTIR de la semilla destilada de Thevetia peruviana.



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

En contraste los espectros obtenidos para las muestras PM y SM mostraron bandas características del estiramiento H–O–H alrededor de 1650 y 1637 $cm^{-1}$, respectivamente, así como bandas anchas asociadas al estiramiento O–H en 3292 y 3288 $cm^{-1}$. Estas señales presentan una mayor similitud con el espectro infrarrojo del agua que con el del etanol, lo que sugiere la presencia predominante de agua residual y/o una baja concentración de etanol en las muestras analizadas [42, 43]. Con ello, el espectro observado en SM Y PM indican que no presentan un patrón predominante de etanol, lo que sugiere que el contenido presente se encuentra por debajo del límite de detección de la técnica FTIR o de igual manera, se deba a la evaporación de etanol en el medio, obteniendo como resultado una detección errónea [44]. De igual forma, debe considerarse que las muestras analizadas se encuentran en una solución diluida en agua, lo que influye directamente en la forma e intensidad de las bandas espectrales, generando diferencias respecto al espectro del etanol puro y explicando la variación observada en los espectros FTIR.

**3. Microscopía Electrónica de Barrido y Análisis Elemental.** Las micrografías obtenidas para PM observadas en la ***Figura 7*** revelan una morfología fibrosa, compacta y densa. En contraste, las micrografías de SM que se muestran en la ***Figura 8*** evidencian una morfología granulada con bordes irregulares.

Las diferencias morfológicas observadas entre las muestras se atribuyen principalmente a la composición lignocelulósica de cada fracción. En el caso de la SM la mayor proporción de lignina y celulosa, evidenciada en el análisis termogravimétrico descrito anteriormente, confiere a la estructura un carácter leñoso y rígido, lo cual concuerda con la formación de morfologías granulares asociadas a la alta resistencia estructural del material [45-47].

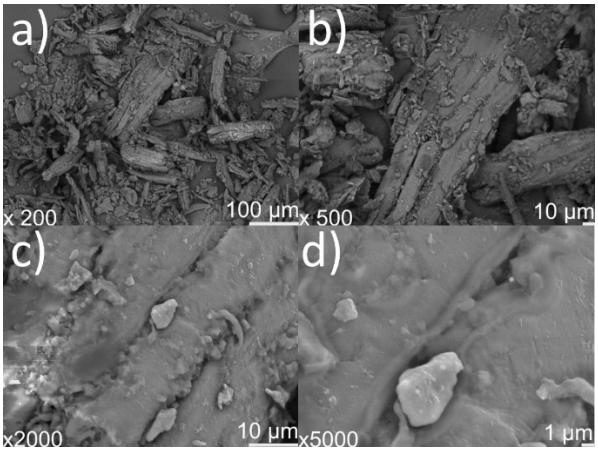



**Figura 7.** Micrografías SEM del pericarpio con magnificación: (a) 200x (b) 500x (c) 2000x y (d) 5000x.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

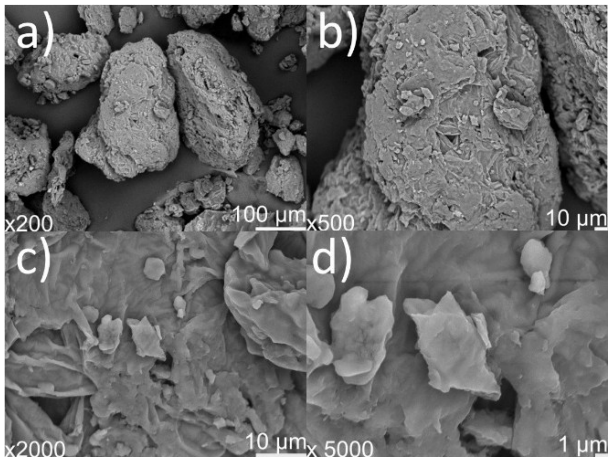



**Figura 8.** Micrografías SEM de la semilla molida en aumentos de (a) 200X (b) 500x (c) 2000x y (d) 5000x.

Por otra parte, la morfología fibrosa del pericarpio se relaciona con su mayor contenido relativo de hemicelulosa tal como se puede observar en los análisis termogravimétricos descritos anteriormente, lo que favorece una estructura menos rígida y más fibrilar [10].

Como consecuencia, al presentar menor contenido de celulosa en su composición, el pericarpio exhibe una menor resistencia a la degradación, lo que facilita mayor liberación de azúcares durante la hidrólisis [48-50].

El análisis elemental de SM (***Tabla 1***), muestra que la composición corresponde a un 50.62% de carbono y 44.67% de oxígeno, con proporciones menores de los elementos encontrados en la biomasa del material lignocelulósico: sodio (1.33%), cloro (0.85%) y potasio (2.54%).

**Tabla 1**: Análisis elemental de SM de T. peruviana.

| **Elemento** | **Peso%** | **Atómico%** |
|---|---|---|
| C K | 50.62 | 58.92 |
| O K | 44.67 | 39.03 |
| Na K | 1.33 | 0.81 |
| Cl K | 0.85 | 0.33 |
| K K | 2.54 | 0.91 |
| **Total** | **100** | |

Por otra parte, la muestra PM (***Tabla 2***) mostró una composición dominada por carbono con un 71.74% y oxígeno 26.38%. En menor proporción se encuentran los elementos que componen el material lignocelulósico: magnesio (0.34%), fósforo (0.81%), potasio (0.44%) y calcio (0.29%).



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

**Tabla 2**: Análisis elemental de PM de T. peruviana.

| Elemento | Peso% | Atómico% |
|---|---|---|
| C K | 71.74 | 77.77 |
| O K | 26.38 | 21.47 |
| Mg K | 0.34 | 0.18 |
| P K | 0.81 | 0.34 |
| K K | 0.44 | 0.15 |
| Ca K | 0.29 | 0.09 |
| **Total** | **100** | |

En el análisis elemental para las muestras SM (***Tabla 1***) y PM (***Tabla 2***) se observó un predominio de carbono y oxígeno. Al comparar estos resultados con el estudio de Ronquillo-Ponce, M. (2021) [51], quienes reportaron contenidos promedio de carbono de 44.57% en maíz, 39.02% en cebada y 36.21% en trigo, se evidencia que el pericarpio de *T. peruviana* presenta una mayor concentración de carbono. En conjunto, estos resultados indican que PM constituye un candidato prometedor para su aprovechamiento en procesos de producción de bioetanol [52].

**4. Resonancia Magnética Nuclear (RMN) .** El análisis RNM del pericarpio destilado (***Figura 9***) y semilla destilada (***Figura 10)*** reveló la presencia de tres señales características. El pico C, ubicado en 0.98 ppm para el pericarpio y 1.01 ppm para la semilla, la cual corresponde al grupo metilo $CH_3$ con un patrón de triplete. El pico B presentó un patrón de cuarteto en ambas muestras, con desplazamientos químicos de 3.43 ppm para el pericarpio y 3.47 ppm para la semilla, atribuibles al grupo metileno $CH_2$. Finalmente, el pico A, observado con una señal singular a 4.62 ppm para el percarpio y 4.63 ppm para la semilla, se asocia al protón hidroxilo (O-H).

Los resultados concuerdan con lo reportado en la literatura [53, 54], donde se describen valores de desplazamiento químico similares para procesos de fermentación en vinos y zumos utilizando *Saccharomyces cerevisiae*, así como en el aprovechamiento de frutas y vegetales para la producción de biocombustibles. Estos hallazgos confirman la presencia de etanol en las muestras analizadas. Asimismo, se observó una mayor intensidad relativa de las señales asociadas al etanol en el pericarpio destilado en comparación con la semilla destilada, lo que refuerza que el pericarpio de *T. peruviana* es más adecuado como materia prima para la producción de biocombustibles.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

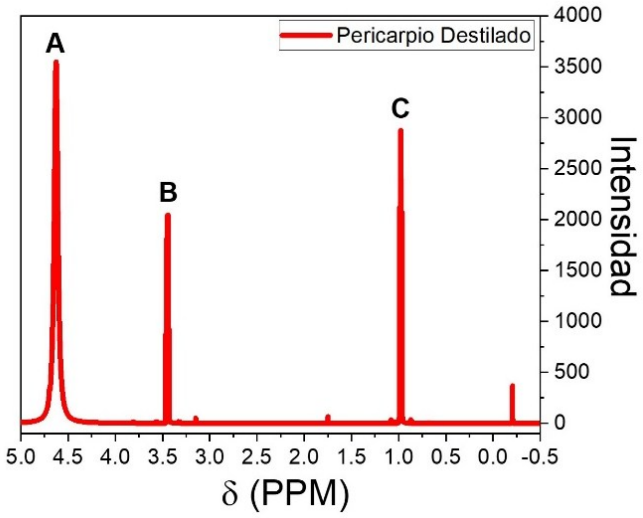



**Figura 9.** Resonancia Magnética Nuclear (RNM) del pericarpio destilado.

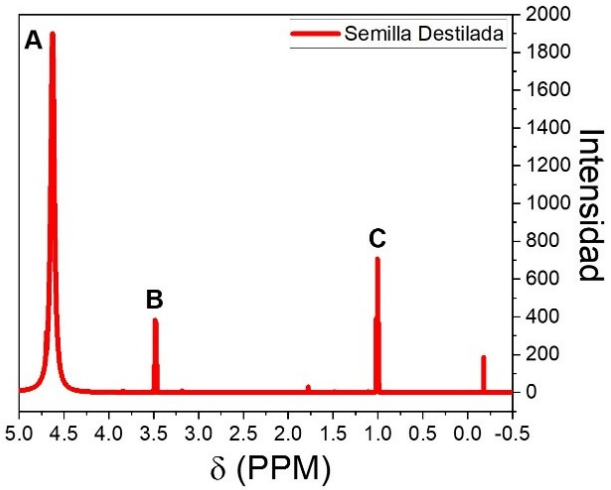



**Figura 10.** Resonancia Magnética Nuclear (RMN) de la semilla destilada.

## CONCLUSIÓN

El presente estudio permitió evaluar el potencial de *Thevetia peruviana* como materia prima para la producción de bioetanol mediante la caracterización fisicoquímica de su biomasa lignocelulósica y el análisis de su comportamiento durante los procesos de hidrólisis y fermentación. Los resultados demostraron que tanto el pericarpio como la semilla presentan propiedades compatibles con el aprovechamiento energético; sin embargo, el pericarpio mostró mayores ventajas para la producción de bioetanol debido a su mayor contenido relativo de hemicelulosa, mayor accesibilidad estructural, menor resistencia a la degradación y un contenido de carbono superior (71.74%), factores que favorecen la liberación de azúcares fermentables y su posterior conversión a etanol.



Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

La confirmación de señales asociadas a etanol mediante RMN, así como el comportamiento térmico característico de materiales lignocelulósicos observado en TGA/DTG, respaldan la viabilidad de *Thevetia peruviana* como fuente alternativa de biomasa para la obtención de biocombustibles. Aunque los análisis FTIR de los destilados mostraron limitaciones en la detección directa de etanol debido a la dilución del medio y posibles pérdidas por evaporación, los resultados integrales permiten establecer una base sólida para su aprovechamiento energético.

A diferencia de investigaciones previas enfocadas principalmente en la producción de biodiésel a partir del aceite de la semilla, este trabajo aporta evidencia novedosa sobre el potencial de la fracción lignocelulósica del fruto para la producción de bioetanol, ampliando el conocimiento sobre la valorización integral de esta especie no alimentaria y tóxica. Esto representa una contribución original al campo de los biocombustibles de segunda generación, particularmente en el uso de plantas autóctonas adaptadas a condiciones edafoclimáticas locales.

El aprovechamiento de *Thevetia peruviana* no solo diversifica las materias primas disponibles para la producción de bioetanol, sino que también fortalece estrategias de bioeconomía regional, al promover el uso sostenible de biomasa no convencional abundante en Yucatán. Por ello, esta investigación abre nuevas perspectivas para el desarrollo de procesos optimizados de conversión y para futuras aplicaciones de esta especie en tecnologías de energía renovable.

## AGRADECIMIENTOS

Al Cinvestav-Unidad Mérida y al Laboratorio Nacional de Nano y Biomateriales (LANNBIO) del Departamento de Física Aplicada por las caracterizaciones SEM-EDS, TGA/DTG y RMN. D.M. Herrera-Zamora agradecen a CONAHCYT y SECIHTI por la beca posdoctoral 8472580, en el marco del programa “Estancias posdoctorales por México”.

## REFERENCIAS

[1] J. Arismendi, A. Avendaño, J. Parra y D. Rodríguez, “Aprovechamiento de aceites vegetales usados para la obtención de biodiésel de segunda generación: una revisión,” ConBRepro, vol. XI, no. I, pp. 1–10, 2021. [En línea]. Disponible: https://aprepro.org.br/conbrepro/2021/anais/arquivos/09272021_220941_61526cf9343f5.pdf

[2] M. A. Álvarez Amparán y L. Cedeño-Caero, “Análisis y relevancia de los procesos catalíticos para la remoción de azufre en los combustibles fósiles,” Mundo Nano, vol. XIV, no. 26, pp. 1–21, 2021, doi: 10.22201/ceiich.24485691e.2021.26.69633.

[3] N. Patel y D. Mehta, “El efecto asimétrico de la industrialización, el desarrollo financiero y la globalización en las emisiones de $CO_2$ en la India,” Int. J. Thermofluids, vol. XX, no. 1, pp. 1–9, 2023, doi: 10.1016/j.ijft.2023.100397.

[4] J. Roca Jusmet, “La política climática y los combustibles fósiles: Una perspectiva desde la oferta,” Rev. Econ. Crítica, vol. XXXIV, pp. 9–25, 2022.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

[5] S. S. Hassan, G. A. Williams y A. K. Jaiswal, "Avanzando hacia la segunda generación de biorrefinerías lignocelulósicas en la UE: impulsores, desafíos y oportunidades," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 101, pp. 590–599, 2019, doi: 10.1016/j.rser.2018.11.041.

[6] H. Gutiérrez Aceves, S. M. Mercado Ibarra, O. Chávez López y J. L. Razo-Arévalo, "Procesos de construcción, emisión de dióxido de carbono y resultados socioeconómicos durante la pandemia del COVID-19 en México," Telos, vol. XXXIII, no. 2, pp. 485–502, 2021, doi: 10.36390/telos232.17.

[7] S. Guevara, J. Alvarado, M. Arroyo, R. Escutia y J. Rico, "Hidrodesoxigenación catalítica: uso de compuestos derivados de biomasa para la generación de biocombustibles," Rev. Multidisciplinaria, vol. VII, no. 1, pp. 9536–9548, 2023, doi: 10.37811/cl_rcm. v7i1.5076.

[8] M. Estrada Maya y B. Weber, "Biogás y bioetanol a partir de bagazo de agave sometido a explosión de vapor e hidrólisis enzimática," Ing. Investig. Tecnol., vol. XXIII, no. 2, pp. 1–10, 2022, doi: 10.22201/fi.25940732e.2022.23.2.009.

[9] J . Ventura Ríos, M. Santiago Ortega, M. Maldonado Peralta, P. Álvarez Vázquez, R. Maldonado Peralta, I. Barrera Martínez y C. Wilson Darcía, "Biomasa de Urochloa humidicola como materia prima para pproducir biocombustible" Ecosist. Recur. Agropec., vol. 44, no. 4, pp. 1–12, 2021, doi: 10.19136/era. a11nIV.4073.

[10] P. Basera, S. Chakraborty y N. Sharma,"Biomasa lignocelulósica: información sobre la hidrólisis enzimática, factores influyentes y viabilidad económica," Discov. Sustain., vol. 5, Art. no. 311, pp. 1–16, 2024, doi: 10.1007/s43621-024-00543-5.

[11] K. Ulpo, D. Espín y P. Palmay, "Co-pirólisis de la mezcla de biomasa lignocelulósica y residuos plásticos," Perfiles, vol. 1, no. 29, pp. 69–77, 2023, doi: 10.47187/perf. v1i29.207.

[12] R. C. Rodrigues, B. G. Rodrigues, E. V. Canettieri, E. A. Martinez, F. Palladino, A. Wisniewski Jr. y D. Rodrigues Jr., "Comprehensive approach of methods for microstructural analysis and analytical tools in lignocellulosic biomass assessment: A review," Bioresour. Technol., vol. 348, Art. no. 126627, 2022, doi: 10.1016/j.biortech.2021.126627.

[13] J. Serrano, W. Mejía, J. Ortiz, A. Sánchez y S. Zalamea, "Determinación del potencial de generación eléctrica a partir de biomasa en el Ecuador," Rev. Fac. Cienc. Quím., vol. 17, pp. 41–61, 2021.

[14] V. Inyang, O. T. Laseinde y G. Kanakana, "Técnicas y aplicaciones de fuentes de biomasa lignocelulósica como combustibles para el transporte y otros bioproductos," Int. J. Low-Carbon Technol., vol. 17, pp. 900–909, 2022, doi: 10.1093/ijlct/ctac068.

[15] K. Kucharska, E. Słupek, H. Cieśliński y M. Kaminski, "Advantageous conditions of saccharification of lignocellulosic biomass for biofuels generation via fermentation processes," Chem. Pap., vol. 74, pp. 1199–1209, 2020, doi: 10.1007/s11696-019-00960-1.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

[16] S. Soltanian, M. Aghbashlo, F. Almasi, H. Hosseinzadeh-Bandbafha, A. S. Nizami, Y. S. Ok y M. Tabatabaei, "A critical review of the effects of pretreatment methods on the exergetic aspects of lignocellulosic biofuels," Energy Convers. Manag., vol. 212, Art. no. 112792, 2020, doi: 10.1016/j.enconman.2020.112792.

[17] K. S. Baig, "Interaction of enzymes with lignocellulosic materials: Causes, mechanism and influencing factors," Bioresour. Bioprocess., vol. 7, no. 21, pp. 1–19, 2020, doi: 10.1186/s40643-020-00310-0.

[18] S. D. Langford y P. J. Boor, "Oleander toxicity: An examination of human and animal toxic exposures," Toxicology, vol. 109, no. 1, pp. 1–13, 1996, doi: 10.1016/0300-483X(95)03296-R.

[19] T. Torres, Evaluación de la eficacia de la semilla de Thevetia peruviana sobre la reducción de peso en ratas hembra Wistar obesas, tesis de licenciatura, Instituto de Ciencias de la Salud, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo, Pachuca, México, 2010. [En línea]. Disponible: http://dgsa.uaeh.edu.mx:8080/jspui/bitstream/231104/4216/1/AT14996.pdf

[20] L. Alvarado Cárdenas, L. Lozada Pérez, C. Islas Hernández, E. Cortez, K. Maya Mandujano y M. Chávez Hernández, "Apocináceas de ayer y hoy. Conocimiento histórico y reevaluación de la diversidad y distribución de Apocynaceae en México," Bot. Sci., vol. 98, no. 2, pp. 393–416, 2020, doi: 10.17129/botsci.2525.

[21] V. S. Larnaudie, M. D. Ferrari y C. Lareo, "El pasto varilla como biomasa alternativa para la producción de etanol en una biorrefinería: Perspectivas sobre tecnología, economía y sostenibilidad ambiental," Renew. Sustain. Energy Rev., vol. 158, Art. no. 112115, 2022, doi: 10.1016/j.rser.2022.112115.

[22] V. S. Chauhan, A. Mazumder y S. Chandel, "Thevetia peruviana: Its phytochemistry, traditional and medicinal uses, and pharmacological activities," Int. J. Drug Deliv. Technol., vol. 13, no. 4, pp. 1657–1663, 2023, doi: 10.25258/IJDDT.13.4.81.

[23] T. F. Adepoju, B. E. Olatunbosun, O. M. Olatunji y M. A. Ibeh, "Brette Pearl Spar Marble (BPSM): A potential recoverable catalyst as a renewable source of biodiesel from Thevetia peruviana seed oil for the benefit of sustainable development in West Africa," Energy Sustain. Soc., vol. 8, no. 23, pp. 1–17, 2018, doi: 10.1186/s13705-018-0164-1.

[24] L. Domínguez Pérez, D. Castañeda Valbuena, A. Rosales Quintero, J. A. Santiz Gómez, V. Zimmermann, J. J. Virgen Ortiz, S. Galindo Ramírez, R. Fernandez-Lafuente, R. C. Rodríguez y V. Tacias Pascacio, "Evaluation of aqueous enzymatic extraction for obtaining oil from Thevetia peruviana seeds," Catalysts, vol. 15, no. 7, p. 628, 2025, doi: 10.3390/catal15070628.

[25] R. K. Mishra y K. Mohanty, "Kinetic analysis and pyrolysis behavior of low-value waste lignocellulosic biomass for its bioenergy potential using thermogravimetric analyzer," Mater. Sci. Energy Technol., vol. 4, pp. 136–147, 2021, doi: 10.1016/j.mset.2021.03.003.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

[26] J. M. Camargo Lopez, V. Palermo, M. H. Brijaldo, J. J. Martinez ZZambrano yG. P. Rommanelli, "Catalizadores preparados a partir de biomasa: Aplicación en la obtención de intermediarios de aditivos de biocombustibles," Cienc. Aplicadas, vol. 4, no. 1, pp. 1–4, 2023. [En línea]. Disponible: https://revistas.unlp.edu.ar/CienciasAplicadas/issue/view/986

[27] A. K. Tiwari, N. Prasad, A. Kapoor, A. K. Arya y D. B. Pal, "Sustainable valorization of Cascabela thevetia fruit peel and seed waste biomass: Characterization and thermo-kinetic analysis," Biomass Convers. Biorefin., vol. 15, pp. 26435–26447, 2023, doi: 10.1007/s13399-023-05066-z.

[28] R. Lugo, H. Caamal Velázquez y J. Cano Sosa, XX Años de Biotecnología en el Sureste Mexicano y su aporte a la Sociedad. Guadalajara, México: Sociedad Mexicana de Biotecnología y Bioingeniería, Delegación Sur-Sureste, 2022. [En línea]. Disponible: https://ciatej.mx/files/divulgacion/divulgacion_63766a9437564.pdf

[29] A. Maceda, M. Soto Hernández, C. B. Peña Valdivia, C. Trejo y T. Terrazas, "Lignina: composición, síntesis y evolución," Madera Bosques, vol. 27, no. 2, pp. 1–16, 2022, doi: 10.21829/myb.2021.2722137.

[30] Y. G. Gillij, A. A. Galussi y P. Perisse, "Características morfoanatómicas y químicas del tegumento seminal de Desmodium incanum (Fabaceae, Desmodieae) y su asociación con la dormición," Lilloa, vol. 60, no. 2, pp. 241–257, 2023, doi: 10.30550/j.lil/1852.

[31] N. Gouda, R. K. Singh, R. K. Patel y A. K. Panda, "Fast pyrolysis of Kaner (Thevetia peruviana) seed to fuel and chemicals," Int. J. Appl. Anal. Chem., vol. 1, no. 1, pp. 7–20, 2015.

[32] W. Rivera, X. Velasco y C. A. Rincón, "Evaluación por TGA y FTIR de los cambios de composición producidos por la tostión en granos de café," Rev. Colomb. Fís., vol. 45, no. 3, pp. 205–208, 2013.

[33] R. Raudhatussyarifah, W. B. Sediawan, M. M. Azis y I. Hartati, "Microcrystalline cellulose production by acid hydrolysis of hydrotropic rice straw pulp," IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci., vol. 963, no. 1, Art. no. 012055, 2022, doi: 10.1088/1755-1315/963/1/012055.

[34] I. Iliyin, H. Purwaningsih y T. T. Irawadi, "Isolation and characterization of cellulose from banana stems using microwave heating," J. Kimia Valensi, vol. 6, no. 2, pp. 169–176, 2020, doi: 10.15408/jkv. v6i2.15962.

[35] J. K. Ogunjobi, A. I. Adewale y S. A. Adeyemi, "Cellulose nanocrystals from Siam weed: Synthesis and physicochemical characterization," Heliyon, vol. 9, Art. no. e13104, 2023, doi: 10.1016/j.heliyon. 2023.e13104.

[36] D. Q. Viet y V. D. Son, "Study on characteristics of acacia wood by FTIR and thermogravimetric analysis," Vietnam J. Chem., vol. 55, no. 2, pp. 259–264, 2017, doi: 10.15625/2525-2321.2017-00456.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

[37] F. Carrillo, X. Colom, J. J. Suñol y J. Saurina, "Structural FTIR analysis and thermal characterisation of lyocell and viscose-type fibres," Eur. Polym. J., vol. 40, no. 9, pp. 2229–2234, 2004, doi: 10.1016/j.eurpolymj.2004.05.003.

[38] S. Ge, X. Chen, D. Li, Z. Liu, H. Ouyang, W. Peng y Z. Zhang, "Hemicellulose structural changes during steam pretreatment and biodegradation of Lentinus edodes," Arab. J. Chem., vol. 11, no. 6, pp. 771–781, 2018, doi: 10.1016/j.arabjc.2017.12.022.

[39] S. U. Ilyas, R. Pendyala y N. Marneni, "Stability and agglomeration of alumina nanoparticles in ethanol-water mixtures," Procedia Eng., vol. 148, pp. 290–297, 2016, doi: 10.1016/j.proeng.2016.06.616.

[40] T. Flores-Reyes y L. Ponce, Solución láser para un problema espinoso: la ablación láser como método para remover las espinas del fruto de tuna. España: EAE LAP Lambert Academic Publishing GmbH & Co., 2011.

[41] K. Quintero, L. López y L. De Lima, "Espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier- reflectancia total atenuada (FTIR/ATR) aplicada a la caracterización de crudos y su relación con la gravedad API," Rev. Fac. Ing. Univ. Cent. Venez., vol. 29, no. 2, pp. 93–102, 2014.

[42] S. Abdul, M. Abu, F. Adam y P. Jamal, "Structures and hydrogen bonding recognition of mefenamic acid form I crystals in mefenamic acid/ethanol solution," Int. J. Chem. Eng. Appl., vol. 4, no. 3, pp. 124–128, 2013, doi: 10.7763/IJCEA. 2013.V4.277.

[43] R. Marlina, R. Y. Arundina, E. A. Togatorop, S. A. Saifulloh, Ismadi, D. Purnomo, I. Budiman, Y. Darma y Subyakto, Proceedings of the 1st International Conference of Lignocellulose. Singapore: Springer Nature, Green Energy and Technology, 2025.

[44] P. Mondragón Cortez, Principios y aplicaciones de la espectroscopía de infrarrojo en el análisis de alimentos y bebidas. Jalisco, México: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), 2020.

[45] P. Lu y Y. Hsieh, "Preparation and properties of cellulose nanocrystals: rods, spheres, and network," Carbohydr. Polym., vol. 82, no. 2, pp. 329–336, 2010, doi: 10.1016/j.carbpol.2010.04.073.

[46] K. Bauddh, B. Singh y J. Korstad, Phytoremediation Potential of Bioenergy Plants. Singapore: Springer Nature Singapore, 2017.

[47] J. Wu, Y. Dong, H. Zhang, J. Liu, S. Renneckar y J. Saddler, "Reduced cellulose accessibility slows down enzyme-mediated hydrolysis of cellulose," Bioresour. Technol., vol. 371, Art. no. 128647, 2023, doi: 10.1016/j.biortech.2023.128647.

[48] B. L. Browning, "Crystallinity and accessibility," en Methods of Wood Chemistry, New York, NY, USA, 1967, pp. 499–518.

[49] C. Siol, D. Thrän y S. Majer, "Aprovechamiento de biomasas residuales de la agricultura y la silvicultura: Diferentes enfoques para establecer límites sistémicos en evaluaciones ambientales y económicas del ciclo de vida," Palmas, vol. 44, no. 1, pp. 65–82, 2023.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690

[50] I. A. Ángeles Zamora, J. G. Pérez Flores, L. García Curiel, L. A. Portillo Torres, E. Contreras López y E. Pérez Escalante, "Uso de la cal para la extracción de arabinoxilanos a partir de la biomasa lignocelulósica: hacia una biorrefinería sostenible y economía circular," Horizonte Acad., vol. 5, no. 1, pp. 1–31, 2025, doi: 10.70208/3007. 8245.v5.n1.63.

[51] M. E. Ronquillo Ponce, Obtención de bioetanol mediante hidrólisis enzimática a partir de biomasa residual agrícola procedente de maíz blanco, trigo y cebada con fines de biorrefinería, tesis de maestría, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible: https://dspace.espoch.edu.ec

[52] A. Alvarez Castillo, R. Salgado Delgado, E. García Hernández, M. M. Domínguez Domínguez, J. M. Granados Baeza, A. Aguirre Cruz, R. Carmona García, A. Morales Cepeda, P. J. Herrera Franco, A. Licea Claverie y A. M. Mendoza-Martínez, "Aprovechamiento integral de los materiales lignocelulósicos," Rev. Iberoam. Polím., vol. 13, no. 4, pp. 140–150, 2012.

[53] J. E. Herbet Pucheta, J. D. Lozada Ramírez, A. E. Ortega-Regules, L. R. Hernández y C. Anaya de Parrodi, "Metabolómica por resonancia magnética nuclear con eco de gradiente de campo pulsado doble y espectroscopia de supresión de disolventes automatizada para matrices de datos multivariantes aplicadas al análisis discriminante de vinos y zumos," Molecules, vol. 26, no. 14, pp. 1–23, 2021, doi: 10.3390/molecules26144146.

[54] K. S. Tanamachi, N. C. Alvarado Ahedo, J. R. Gárate Ruiz, M. P. Restrepo Elorza, G. M. González Guerra, F. I. Gómez Castro y S. Hernández Castro, "Revaloración de residuos de fruta y verdura para la producción de biocombustibles," Jóvenes en la Ciencia, vol. 26, pp. 1–14, 2022.



CC BY NC SA

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6690