

Caracterización Físico-Proximal y Química de Residuos de Copalillo (*Bursera Cuneata*) para la Producción de Pellets y su Aplicación en la Comunidad Indígena de Tócuaro, Michoacán, México

Octavio Alejandro Castillo-Tera ¹, José Guadalupe Rutiaga-Quíñones ³ y Mario Morales-Máximo ^{1,2,3,*}

¹ Doctorado en ciencias para la sostenibilidad e interculturalidad, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Carretera Pátzcuaro-Huecorio Km 3, Pátzcuaro 61614, Michoacán, México.

² Maestría en Educación Ambiental, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán, Carretera Pátzcuaro-Huecorio Km 3, Pátzcuaro 61614, Michoacán, México.

³ Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de Nicolás de Hidalgo, Francisco J. Mújica SN, Ciudad Universitaria, Morelia, 58040, Michoacán, México.

* Autor de correspondencia: mario.morales@uiim.edu.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 1 de abril de 2026

Aceptado: 10 de junio de 2026

Publicado: 25 de junio de 2026

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v5i2.699>

Resumen: Esta investigación analiza el aprovechamiento de biomasa lignocelulósica residual de *Bursera cuneata* para la producción de biocombustibles sólidos tipo pellet para su aplicación en la comunidad indígena de Tócuaro, Michoacán, México. Dicho residuo se genera como subproducto de la actividad maderera artesanal local y actualmente presenta un bajo nivel de aprovechamiento, a pesar de poseer propiedades potenciales para su valorización energética. El estudio evaluó las características físico-proximales y químicas del material, además se analizó el proceso de densificación utilizando distintas concentraciones de aglutinante orgánico (fécula de maíz). Los resultados del análisis proximal mostraron contenidos de humedad de 5.84 %, cenizas de 7.05 %, materia volátil de 75.99 % y carbono fijo de 16.93 %, valores que se encuentran dentro de los rangos adecuados para biomasa destinada a la generación de bioenergía. En cuanto a la composición química, se registraron contenidos de celulosa de 45.58 %, hemicelulosa de 13.8 %, lignina de 10.98 % y compuestos extraíbles de 29.51 %, parámetros compatibles con biomasa lignocelulósica de interés energético. Respecto al proceso de densificación, las formulaciones con 10 % y 5 % de aglutinante provocaron obstrucciones en la matriz peletizadora y redujeron la eficiencia de producción, mientras que la concentración de 2 % permitió obtener pellets con mejores propiedades físicas y operativas. Los resultados demuestran que el residuo de *Bursera cuneata* posee potencial para la producción de pellets, contribuyendo al aprovechamiento de residuos locales y al fortalecimiento de la matriz energética local.

Palabras clave: biomasa lignocelulósica, bioenergía, biocombustible sólido

Introducción

La matriz energética (conjunto de fuentes de energía primaria utilizadas en una región con la finalidad de satisfacer sus necesidades energéticas) a nivel nacional depende principalmente del aprovechamiento de combustibles fósiles, sin embargo, la creciente demanda hace necesaria la diversificación de fuentes energéticas, donde podemos encontrar energías alternativas (Kindzera *et al.*, 2025). En este contexto la Agenda 2030 para el desarrollo sostenible, establece una visión hacia el desarrollo sustentable (Pablo-Romero *et al.*, 2022), donde el uso de la biomasa lignocelulósica resulta interesante en la producción de bioenergía (Segers *et al.*, 2024)

En México, la obtención de energía a través de fuentes alternativas ha aumentado, de modo que el aprovechamiento de biomasa lignocelulósica residual ha adquirido mayor relevancia, lo que permite avanzar hacia el desarrollo sostenible (Makepa & Chihobo, 2024). Sin embargo, en comunidades de México como lo es Tócuaro, Michoacán, aún no es aprovechada la biomasa residual. Estos residuos son de origen natural y mediante el proceso de combustión liberan energía en forma de calor (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2025a), su principal generación proviene del sector agrícola y forestal con características energéticas relevantes (de Almeida Moreira *et al.*, 2025; Hernández-Méndez *et al.*, 2026; Shanmugasundaram *et al.*, 2026; Tambunan & Fahmi, 2025; Velappan *et al.*, 2026). Las características primordiales son: poder calorífico superior (MJ/kg) es la cantidad de energía que se libera después de un proceso de combustión completa (Tanger *et al.*, 2013), contenido de humedad (%) cantidad de agua que se encuentra presente en la biomasa (Ramírez & Riaño, 2022), carbono fijo (%) es la parte que se quema en estado sólido y contribuye directamente a la estabilidad térmica (Racero-Galaraga *et al.*, 2024), cenizas (%) son los compuestos inorgánicos presentes (Beltrón *et al.*, 2019) y composición elemental (%) cantidad de polímeros (celulosa, hemicelulosa y lignina) presentes en la biomasa (Morales-Máximo & Rutiaga-Quíñones, 2025).

El aprovechamiento bioenergético puede obtenerse mediante la densificación de la biomasa en forma de pellets. Sus características más relevantes son bajo contenido de humedad y alta densidad energética, los pellets son cilindros con diámetros normalmente comprendidos entre 7 y 22 mm y longitudes de 3.5 a 6.5 cm (Carrillo-Parra *et al.*, 2020). Su producción resulta ser una alternativa para el aprovechamiento de biomasa residual de la comunidad indígena de Tócuaro, Michoacán. Las comunidades indígenas son colectividades que comparten vínculos ancestrales con el territorio y descienden de pueblos originarios previos a la colonización, conservando prácticas culturales y productivas propias (Assembly, 2007). En el caso de Tócuaro existe una importante actividad artesanal basada en el tallado y elaboración de máscaras y de madera de *Bursera cuneata* (Castillo, 2018). Como resultado de este proceso productivo, se generan residuos lignocelulósicos, como aserrín, virutas y fragmentos de madera, que actualmente poseen un aprovechamiento limitado sin un manejo adecuado (Figura 1).

Los residuos generados presentan características físicas como baja densidad, contenidos de humedad variables y tamaños heterogéneos, factores que dificultan su uso. No obstante, debido a su origen lignocelulósico, representan una fuente potencial de aprovechamiento energético a escala local. La peletización una alternativa para transformar residuos en pellets mejorando su aprovechamiento. Por lo anterior, el objetivo de este trabajo fue determinar la concentración adecuada de aglutinante en la producción de pellets elaborados a partir de residuos de *Bursera cuneata*.



Figura 1. Generación de residuos: (a) madera de copalillo, (b) tallado artesanal, (c) residuos madereros.

Desarrollo

El presente estudio se realizó en la comunidad de Tócuaro, Michoacán, México, con una ubicación geográfica de 19° 34' 00" LN y 101° 24' 00" LO, con una altitud de 2048 msnm (INEGI, 2020), esta investigación tomó 3 muestras homogéneas del residuo de *Bursera cuneata*, este trabajo siguió los procedimientos establecidos en las metodologías propuestas de densificación (López-Sosa *et al.*, 2025). La recolección de muestras fue aleatoria, sin corteza y madera original; sin tratamiento químico, debido a que la madera se transporta directamente del bosque de pino-encino al taller artesanal, y estas muestras se usaron en la caracterización a nivel laboratorio, estas fueron recolectadas y se dejaron secar al aire libre durante 4 semanas hasta obtener una biomasa anhidra. Se destaca que las muestras recogidas provienen del proceso local de fabricación artesanal. La metodología realizada se presenta en Figura 2. Se recolectaron muestras homogéneas de residuos de *Bursera cuneata* y se molieron usando un molino agrícola Swissmex, 613001, México, resultando en harina de madera absolutamente seca y deshidratada, que luego fue tamizada a través de una malla 40 (425 μ m) para realizar los análisis correspondientes que abajo se describen.

Análisis físico-proximal

El contenido de humedad se realizó por triplicado y fue determinado mediante la Norma de combustibles sólidos de España (UNE-EN 14774-1, 2010), contenido de cenizas (UNE-EN 14775, 2010), material volátil de acuerdo con el estándar ASTM D7582-12 (ASTM International, 2013). El carbono fijo se obtuvo por diferencia, restando el contenido de cenizas y volátiles (García *et al.*, 2012).

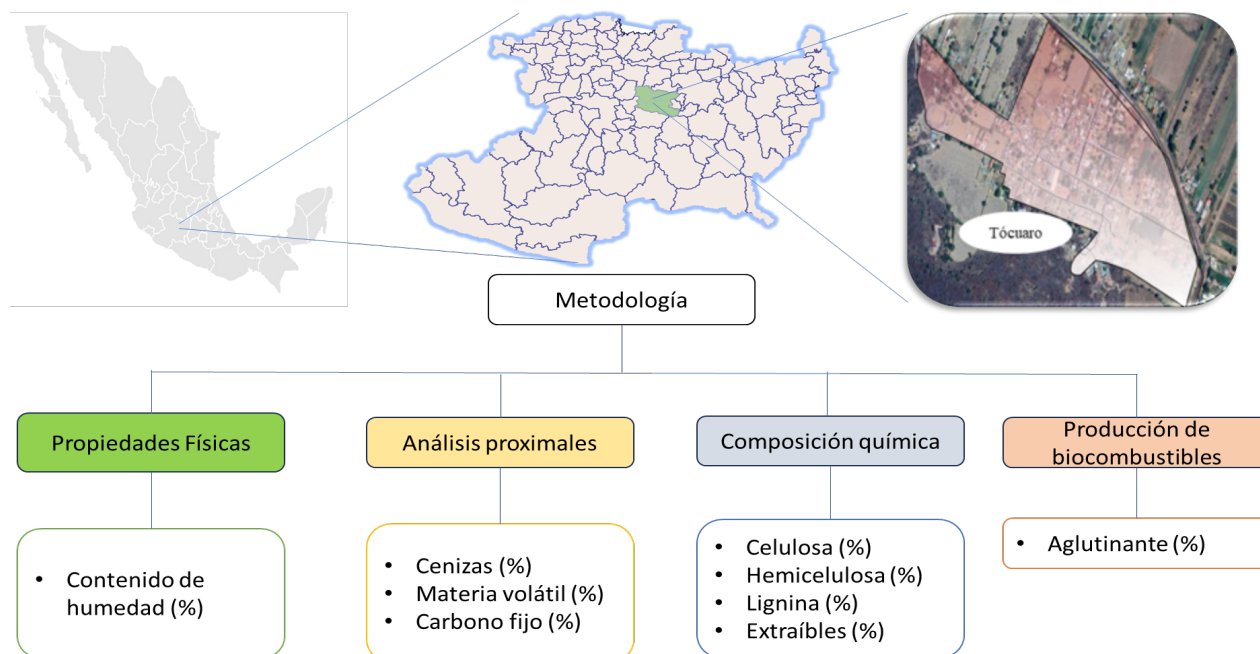


Figura 2. Diagrama metodológico de la investigación.

Análisis químico elemental

Se realizó con 0.5 g del residuo de biomasa lignocelulósica en peso anhidro, lo que permite determinar los principales componentes poliméricos (celulosa, hemicelulosa y lignina) mediante un análisis de fibras con el método gravimétrico de Van Soest, con α -amilasa en un analizador de fibras ANKOM-200 (Goering & Van Soest, 1970), este se determinó una única vez mientras para el cálculo de extractivos se determinó por diferencia de 100.

Producción de biocombustible

Por último, el proceso de densificado se llevó a cabo a una temperatura constante de 75 °C que es la temperatura máxima que alcanza el equipo, a través de una peletizadora El Ciprés, 150-MG, México. Con el fin de determinar la formulación óptima, se determinaron tres concentraciones de aglutinante respecto al residuo, establecidas en proporciones de 10 %, 5 % y 2 % estas concentraciones que han demostrado mejorar la producción de pellets (Surdi de Castro *et al.*, 2021a, 2021b; Sykorova *et al.*, 2024), equivalentes a 100 g, 50 g y 20 g de aglutinante por cada kilogramo de biomasa, respectivamente. La evaluación de los tratamientos se realizó a partir del comportamiento operativo del proceso de peletización, considerando criterios como la obstrucción de la matriz peletizadora, continuidad en la producción y formación adecuada del pellet. Debido a que el estudio tuvo un enfoque exploratorio y preliminar, no se aplicaron pruebas estadísticas.

Resultados

Caracterización físico proximal

La caracterización físico-proximal mostró un contenido de humedad de 5.84 % (± 0.67), cenizas 7.05 % (± 0.27), materia volátil 75.99% (± 1.08), carbono fijo 16.93% (± 1.15), estos valores son similares a los reportados en la generación de bioenergía mediante pellets (Abd Halim & Muhammad, 2025).

El contenido de humedad encontrado en el presente trabajo es adecuado ya que este debe ser inferior a 15 % (Morales-Máximo *et al.*, 2025), condición favorable en las muestras, lo que contribuiría al poder calorífico superior (Castillo-Tera *et al.*, 2025); en comparación con otro estudio de residuos de *Bursera* donde encontraron valores de 13.54 a 14.22 % (Puescas *et al.*, 2022), a su vez comparable con material de biomasa lignocelulósica usada reportados valores de 4.3 a 12.4% (Pintor-Ibarra *et al.*, 2023)(Pintor-Ibarra *et al.*, 2023).

El contenido de cenizas puede variar depende la especie forestal, tal como se reporta en la combustión de biomasa de madera en hornos domésticos de leña donde se reportan rangos de 2.6 a 18.3 % Abedul y Pino (Smołka-Danielowska & Jabłońska, 2021), también comparables con valores de 0.6 a 1.15% leña de *Dichrostachys cinérea* de especies locales de biomasa (Lubwama *et al.*, 2021), en (Ramírez-Ramírez *et al.*, 2022) el caso de pellets de paja de trigo se reportó 10.51 % y pellets de pino 0.9 % (Miranda *et al.*, 2015). Por lo cual, el residuo de biomasa lignocelulósica de *Bursera cuneata* está dentro de rangos reportados en usos bioenergéticos.

Para el caso de materia volátil pellets de *Pinus* reportan 77.97 %. (Stolarski *et al.*, 2025), a su vez comparables con estudios con biomasa leñosa sin tratamiento donde encontraron valores de 58.1 % *Pinus nigra* y 86.2% *Robinia pseudoacacia* (Bianchini *et al.*, 2025), esto nos indica que a partir del residuo de *Bursera cuneata* se esperaría una buena combustión.

Por último, el análisis proximal de carbono fijo es importante ya que esta es la parte que se quema en estado sólido y será la combustión completa y estable, estudios han reportado rangos de 20.58 % (Stolarski *et al.*, 2025), en el caso de la biomasa valorada en pellets de *Pinus* se reportó rangos de 8.93 a 14.16 % (Ramírez Ramírez *et al.*, 2025b), por lo tanto, el residuo de biomasa lignocelulósica evaluada en el presente estudio está dentro de rangos reportados.

Composición química

La composición química se encontró: celulosa 45.58 %, hemicelulosa 13.8 %, lignina 10.98 % y extraíbles 29.51 %. Se ha mostrado que la *Bursera cuneata* posee compuestos formados por carbono y oxígeno que, al ser un material orgánico con características forestales, corresponden a compuestos poliméricos como celulosa, hemicelulosa y lignina (Castillo-Tera *et al.*, 2023), en el caso de biomasa lignocelulósica se han encontrado celulosa 20.21-58,83%, hemicelulosas 8.81 - 23.71%, lignina 12.88-26.53 % y extraíbles 11.68-36.17 % (Salazar-Herrera *et al.*, 2023). La biomasa presenta una composición química integrada principalmente por celulosa (43–52 %), hemicelulosa (18–28 %), lignina (16–28 %) y compuestos extraíbles (5–19 %) (Díez *et al.*, 2020), en la madera los rangos son celulosa: 40–50 %; hemicelulosa: 20–30 % y lignina: 20–30 % (Fengel & Wegener, 1983). Los valores encontrados en la *Bursera cuneta* resultan adecuados en aprovechamiento como pellets.

Producción de pellets

El proceso de producción de pellets (Figura 3) se evaluaron tres concentraciones de aglutinante orgánico: 10 %, 5 % y 2 % respectivamente. Las formulaciones con 10 % y 5 % presentaron dificultades operativas durante la peletización, debido a la obstrucción de la matriz peletizadora, lo que redujo la continuidad y eficiencia del proceso operativo. En contraste, la formulación con 2 % de aglutinante permitió un flujo continuo del material a través de la matriz del equipo, con el cual no existieron taponamientos y se facilitó la producción continua de pellets (Figura 4).

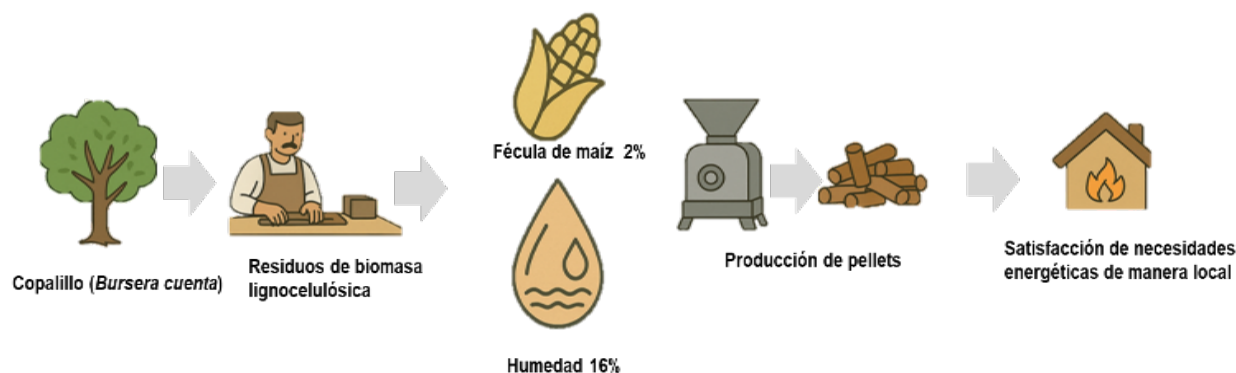


Figura 3. Producción de pellets a partir de residuos de biomasa lignocelulósica para la obtención de bioenergía en la comunidad rural de Tócuaro, Michoacán, México.

Además, los pellets obtenidos con esta concentración presentaron mejores características físicas observables, como mayor uniformidad en forma y tamaño, una compactación más adecuada y menor fragmentación durante su

manipulación. Estos resultados sugieren que concentraciones elevadas de aglutinante incrementan la plasticidad, lo que provoca acumulación de material en la matriz, mientras que la concentración de 2 % favorece un proceso de densificación más eficiente reduciendo obstrucciones en la producción y una mejor calidad física del pellet.



Figura 4. Producción de pellets con diferentes dosis de aglutinante; a) aglutinante, b) pellets concentración aglutinante 10%, c) pellets concentración aglutinante 5%, d) pellets concentración aglutinante 2%.

La aplicación de aglutinantes orgánicos en la producción de pellets se recomienda para mejorar la durabilidad y la aglomeración entre 1 a 5 % (Liu *et al.*, 2025), la influencia de aglutinante en la fabricación debe de ser inferior al 10 %, esto debido a que un porcentaje mayor afecta su producción (Vershina *et al.*, 2024), para optimizar la paletización de biomasa lignocelulósica se requieren distintas concentraciones; los rangos más óptimos reportados están entre 0 a 10 % (Sarker *et al.*, 2023). De acuerdo con los resultados obtenidos la calidad de los pellets puede mejorar. Además, *Bursera cuneata* puede diversificar la matriz energética al ser un residuo con propiedades adecuadas de humedad, materia volátil, carbono fijo, cenizas, celulosa, hemicelulosa y lignina lo cual contribuye en la eficiencia de combustión y estabilidad térmica (Castillo-Tera *et al.*, 2025).

Oportunidades de mejora y tendencias

La producción de pellets a pequeña escala representa un primer paso hacia la producción de biocombustibles con residuos de biomasa. Este sistema, centrado en la densificación, mostró una ruta viable en la fabricación de pellets lo cual permite mejorar la reproducibilidad. La producción a pequeña escala se alinea con el objetivo del desarrollo sostenible al fomentar el uso de residuos localmente disponibles, diversificando la matriz energética, al incorporar una nueva fuente de energía alternativa. Sin embargo, un área para trabajo futuro es la evaluación de propiedades fisicomecánicas de los pellets, durabilidad mecánica, resistencia al impacto y poder calorífico, con la finalidad de comparar su desempeño con estándares nacionales e internacionales para biocombustibles sólidos.

De igual manera, resulta necesario analizar el comportamiento de combustión y emisiones generadas durante su uso, debido al contenido de cenizas reportado en la biomasa, lo cual puede influir en la formación de escorias o incrustaciones. Asimismo, desarrollar estudios de viabilidad técnica, económica y social que permitan la implementación de sistemas comunitarios de producción y aprovechamiento de pellets en la comunidad de Tócuaro, Michoacán, considerando su posible uso doméstico como alternativa de energía renovable.

Conclusiones

El residuo lignocelulósico de *Bursera cuneata* generado en la comunidad de Tócuaro, Michoacán, México representa opción potencialmente viable en la producción de pellets, al presentar características físico-proximales y químicas propias de biocombustibles sólidos en el aprovechamiento energético. Los análisis demuestran que mediante la incorporación de aglutinante se logra la cohesión estructural de pellets, con una concentración del 2 %, este porcentaje ofrece la mejor práctica productiva, al evitar obstrucciones en la matriz y permitir una formación homogénea. Los resultados evidencian el potencial del material para ser integrado en la matriz energética comunitaria y obtención de bioenergía, de esta manera se podría reducir la dependencia de combustibles fósiles tradicionales y avanzar hacia el desarrollo sustentable desde una perspectiva local. En futuras investigaciones se recomienda profundizar en la calidad de los combustibles densificados tipo pellet, como son las características de durabilidad mecánica, comportamiento en combustión y emisiones con el fin de consolidar su adopción en sistemas locales, cocción de alimentos y calefacción.

Bibliografía

- Abd Halim, N. Y., & Muhammad, N. I. S. (2025). Correlation of moisture content and heating value of refuse-derived fuel. *Journal of Physics: Conference Series*, 3003(1), 012019. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/3003/1/012019>
- Asamblea General de las Naciones Unidas. (2007). *United Nations declaration on the rights of indigenous peoples*. United Nations.
- ASTM International. (2013). *ASTM D7582-12: Standard test methods for proximate analysis of coal and coke by macro thermogravimetric analysis*.
- Babinszki, B., Czirok, I. S., Johnson, R., Sebestyén, Z., Jakab, E., Wang, L., Turn, S., Skreiberg, Ø., & Czégény, Z. (2024). Volatile matter characterization of birch biochar produced under pressurized conditions. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 149(19), 10915–10926. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-13381-4>
- Beltrón, I., Palacios, H., & Rosero, E. (2019). Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica. *RIEMTA*, 4.
- Bianchini, L., Colantoni, A., Venanzi, R., Cozzolino, L., & Picchio, R. (2025). Physicochemical properties of forest wood biomass for bioenergy application: A review. *Forests*, 16(4), 702. <https://doi.org/10.3390/f16040702>
- Carrillo-Parra, A., Contreras-Trejo, J. C., Pompa-García, M., Pulgarín-Gámiz, M. Á., Rutiaga-Quñones, J. G., Pámanes-Carrasco, G., & Ngangyo-Heya, M. (2020). Agro-pellets from oil palm residues/pine sawdust mixtures: Relationships of their physical, mechanical and energetic properties with the raw material chemical structure. *Applied Sciences*, 10(18), 6383. <https://doi.org/10.3390/app10186383>
- Castillo-Tera, O. A., López-Sosa, L. B., Pintor-Ibarra, L. F., Rutiaga-Quñones, J. G., & Morales-Máximo, M. (2025). Evaluation of *Bursera cuneata* Schltld. wood residues for use as densified biofuels. *Results in Engineering*, 26, 104916. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.104916>
- Castillo-Tera, O. A., Morales-Máximo, M., López-Sosa, L. B., & Herrera-Ramírez, J. M. (2023). Electron microscopy characterization of *Bursera cuneata* Schltld. residues for its application as solid biofuel. *Microscopy and Microanalysis*, 29(S1), 88–89. <https://doi.org/10.1093/micmic/ozad067.036>
- Castillo, B. (2018). *Uso histórico y abundancia del copalillo (Bursera cuneata Schltld.) en la comunidad de Tócuaro, municipio de Erongarícuaro, Michoacán* [Tesis de licenciatura, Universidad Intercultural Indígena de Michoacán].
- de Almeida Moreira, B. R., Punde, S., Hine, D., & Yadav, S. (2025). From environmental invasive weeds to solid biofuels: Assessing bioenergy potential through pelletisation and operational optimisation. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 80, 104396. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2025.104396>
- Díez, D., Urueña, A., Piñero, R., Barrio, A., & Tamminen, T. (2020). Determination of hemicellulose, cellulose, and lignin content in different types of biomasses by thermogravimetric analysis and pseudocomponent kinetic model (TGA-PKM method). *Processes*, 8(9), 1048. <https://doi.org/10.3390/pr8091048>
- Fengel, D., & Wegener, G. (1983). *Wood: Chemistry, ultrastructure, reactions*. Walter de Gruyter.
- García, R., Pizarro, C., Lavín, A. G., & Bueno, J. L. (2012). Characterization of Spanish biomass wastes for energy use. *Bioresource Technology*, 103(1), 249–258. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.10.004>
- Goering, H. K., & Van Soest, P. J. (1970). *Forage fiber analyses (apparatus, reagents, procedures, and some applications)* (Agriculture Handbook No. 379). U.S. Agricultural Research Service.
- Hernández-Méndez, J., Pintor-Ibarra, L. F., Alvarado-Flores, J. J., Berrueta-Soriano, V. M., Ruiz-Aquino, F., & Rutiaga-Quñones, J. G. (2026). Use of Fabaceae and pine sawdust as alternatives to pelletizing for energy purposes. *Next Sustainability*, 7, 100340. <https://doi.org/10.1016/j.nxsust.2026.100340>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2020). *Censo de población y vivienda 2020*. <https://www.inegi.org.mx/programas/ccpv/2020/>
- Kashif, M., Sabri, M. A., Aresta, M., Dibenedetto, A., & Dumeignil, F. (2025). Sustainable synergy: Unleashing the potential of biomass in integrated biorefineries. *Sustainable Energy & Fuels*, 9(2), 338–400. <https://doi.org/10.1039/d4se01293c>
- Kindzera, D., Kochubei, V., & Hosovskyi, R. (2025). Sustainable utilization of post-extraction residual biomass for solid biofuel production. *South African Journal of Chemical Engineering*, 54, 70–78. <https://doi.org/10.1016/j.saice.2025.07.008>
- Liu, Y., Liu, W., Peng, Z., Wang, J., Xue, Q., & Zuo, H. (2025). Development and application prospects of biomass-based organic binders for pellets compared with bentonite. *Materials*, 18(19), 4553. <https://doi.org/10.3390/ma18194553>
- López-Sosa, L. B., Morales-Máximo, M., Rutiaga-Quñones, J. G., & Aguilera-Mandujano, A. (2025). Methodology for the evaluation of the potential of solid biofuels, their environmental impacts, and applications in end-use technologies in developing countries. En *Biofuels and sustainability: Life cycle assessments, system biology, policies, and emerging technologies* (pp. 105–118). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-443-21433-2.00011-6>

- Lubwama, M., Yiga, V. A., Sempijija, I., & Lubwama, H. N. (2021). Thermal and mechanical characteristics of local firewood species and resulting charcoal produced by slow pyrolysis. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(8), 6689–6704. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01840-z>
- Makepa, D. C., & Chihobo, C. H. (2024). Sustainable pathways for biomass production and utilization in carbon capture and storage: A review. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(8), 11397–11419. <https://doi.org/10.1007/s13399-024-06010-5>
- Miranda, T., Montero, I., Sepúlveda, F. J., Arranz, J. I., Rojas, C. V., & Nogales, S. (2015). A review of pellets from different sources. *Materials*, 8(4), 1413–1427. <https://doi.org/10.3390/ma8041413>
- Morales-Máximo, M., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2025). Analysis and utilization of lignocellulosic materials for the generation of solid biofuels from the Purépecha Plateau in the state of Michoacán, Mexico. *Results in Engineering*, 26, 105230. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2025.105230>
- Morales-Máximo, M., Ruiz-García, V. M., Rutiaga-Quiñones, J. G., & López-Sosa, L. B. (2025). Design and implementation of a low-pressure briquetting machine for the use of *Pinus* spp. wood residues: An approach to appropriate rural technology. *Clean Technologies*, 7(1), 22. <https://doi.org/10.3390/cleantechnol7010022>
- Pablo-Romero, P., Pozo-Barajas, R., Sánchez, J., García, R., Holecchek, J. L., Geli, H. M. E., Sawalhah, M. N., & Valdez, R. (2022). A global assessment: Can renewable energy replace fossil fuels by 2050? *Sustainability*, 14(8), 4792. <https://doi.org/10.3390/su14084792>
- Pintor-Ibarra, L. F., Méndez-Zetina, F. D., Rutiaga-Quiñones, J. G., & Alvarado-Flores, J. J. (2023). Capítulo 5: Caracterización proximal de los biocombustibles sólidos. En *Aplicaciones energéticas de la biomasa: Perspectivas para la caracterización local de biocombustibles sólidos* (pp. 87–116). Universidad Intercultural Indígena de Michoacán.
- Puecas, M., Herrera, E., Moscol, J., & Solís, J. (2022). Yield of essential oil from *Bursera graveolens* wood: Utilization of chips, shavings and sawdust. *Manglar*, 19(2), 131–136. <https://doi.org/10.17268/manglar.2022.016>
- Racero-Galaraga, D., Rhenals-Julio, J. D., Sofan-German, S., Mendoza, J. M., & Bula-Silvera, A. (2024). Proximate analysis in biomass: Standards, applications and key characteristics. *Results in Chemistry*, 12, 101886. <https://doi.org/10.1016/j.rechem.2024.101886>
- Ramírez-Ramírez, M. A., Carrillo-Parra, A., Ruiz-Aquino, F., Hernández-Solís, J. J., Pintor-Ibarra, L. F., González-Ortega, N., Orihuela-Equihua, R., Carrillo-Ávila, N., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2022). Evaluation of selected physical and thermal properties of briquette hardwood biomass biofuel. *BioEnergy Research*, 15(3), 1407–1414. <https://doi.org/10.1007/s12155-022-10391-8>
- Ramírez-Ramírez, M. A., Carrillo-Parra, A., Ruiz-Aquino, F., Luján-Álvarez, C., Hernández-Solís, J. J., Carrillo-Ávila, N., Pintor-Ibarra, L. F., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2025). Valorización de pellets combustibles usando aserrín de 23 especies de maderas mexicanas. *TECNOCENCIA Chihuahua*, 19(1), e1829. <https://doi.org/10.54167/tch.v19i1.1829>
- Ramírez, F., & Riaño, Y. (2022). *Propuesta técnico-financiera para la producción de pellets de borra de café utilizando aceite vegetal como aglomerante a nivel planta piloto* [Tesis de licenciatura].
- Salazar-Herrera, F., Pintor-Ibarra, L. F., Musule, R., Adriananava-Berumen, C., Alvarado-Flores, J. J., González-Ortega, N., & Rutiaga-Quiñones, J. G. (2023). Chemical and energetic properties of seven species of the Fabaceae family. *South-East European Forestry*, 14(2), 215–224. <https://doi.org/10.15177/seeefor.23-19>
- Sarker, T. R., Borugadda, V. B., Meda, V., & Dalai, A. K. (2023). Optimization of pelletization process conditions and binder concentration for production of fuel pellets from oat hull and quality evaluation. *Biomass and Bioenergy*, 174, 106825. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106825>
- Segers, B., Nimmegheers, P., Spiller, M., Tofani, G., Jasiukaitytė-Grojzdek, E., Dace, E., Kikas, T., Marchetti, J. M., Rajić, M., & Yildiz, G. (2024). Lignocellulosic biomass valorisation: A review of feedstocks, processes and potential value chains and their implications for the decision-making process. *RSC Sustainability*, 2(12), 3730–3749. <https://doi.org/10.1039/d4su00477a>
- Sertolli, A., Bai, A., Gabnai, Z., Mizik, T., & Pestisha, A. (2023). Theoretical and energy biomass potential of heat and electricity production in Kosovo. *Energies*, 16(20), 7209. <https://doi.org/10.3390/en16207209>
- Shanmugasundaram, D., Ghugare, A., Mani, A., Balakrishnan, S., Raghavan, V., & Vinu, R. (2026). Single pellet combustion studies of biomass and its blends for bioenergy. *Results in Engineering*, 30, 110604. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2026.110604>
- Smółka-Danielowska, D., & Jabłońska, M. (2021). Chemical and mineral composition of ashes from wood biomass combustion in domestic wood-fired furnaces. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 19(6), 5359–5372. <https://doi.org/10.1007/s13762-021-03506-9>
- Stolarski, M. J., Krzyżaniak, M., & Olba-Zięty, E. (2025). Properties of pellets from forest and agricultural biomass and their mixtures. *Energies*, 18(12), 3137. <https://doi.org/10.3390/en18123137>
- Surdi de Castro, P. G., de Siqueira, H. F., de Castro, V. R., Zanuncio, A. J. V., Zanuncio, J. C., Berger, M. da S., Martins, F. D. R., Carneiro, A. de C. O., Gominho, J., & de Oliveira Araújo, S. (2021). Quality of *Pinus* sp. pellets with kraft lignin and starch addition. *Scientific Reports*, 11(1), 900. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-78918-7>
- Sykorova, V., Jezerska, L., Sassmanova, V., Honus, S., Peikertova, P., Kielar, J., & Zidek, M. (2024). Biomass pellets with organic binders before and after torrefaction. *Renewable Energy*, 221, 119771. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.119771>
- Tambunan, H., & Fahmi, M. (2025). Characteristics of agricultural and plantation wastes as solid biomass energy feedstock: A systematic review. *Jurnal Konversi Energi dan Manufaktur*, 10(2), 150–161.
- Tanger, P., Field, J. L., Jahn, C. E., DeFoort, M. W., & Leach, J. E. (2013). Biomass for thermochemical conversion: Targets and challenges. *Frontiers in Plant Science*, 4, 218. <https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00218>
- UNE-EN 14774-1. (2010). *Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Parte 1: Humedad total*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- UNE-EN 14775. (2010). *Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido de cenizas*. Asociación Española de Normalización y Certificación.
- Velappan, H., Pierobon, F., & Ganguly, I. (2026). Comparative life cycle assessment of bioenergy in Japan from residual biomass-based wood pellets produced in the US Pacific Northwest. *Energy Conversion and Management*, 30, 101749. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2026.101749>
- Vershinina, K. Y., Dorokhov, V. V., Nyashina, G. S., & Romanov, D. S. (2024). Influence of binders on the properties of pellets based on wood waste. *Coke and Chemistry*, 67(2), 104–111. <https://doi.org/10.3103/S1068364X24701291>