

Caracterización de biomásas de café y maíz, para su potencial uso en la elaboración de biocombustible sólido

Characterization of coffee and corn biomasses for their potential use in the production of solid biofuel

Rosa I. García-Paredes^{1,a}, Jandry L. Loor-Zambrano^{1,b}, Jimy A. Zambrano-Ferrin^{1,c},
Marcela M. Loor-Vera^{1,d}, Luisa A. Zambrano-Mendoza^{1,e}, Carlos J. Tubay-Bermúdez^{2,f,*}

¹ Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López, Calceta, Ecuador.

² Universidad Laica Eloy Alfaro de Manabí, Manta, Ecuador.

^a Mg., ✉ ing_irina_garcia@hotmail.com,  <https://orcid.org/0000-0002-0310-3676>

^b Ing., ✉ jandryloorz89@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0008-9915-1875>

^c Ing., ✉ jimizam2000@gmail.com,  <https://orcid.org/0009-0006-7861-897X>

^d Ing., ✉ marcela.loor@espam.edu.ec,  <https://orcid.org/0009-0001-9268-4301>

^e Mg., ✉ luzambrano2492@gmail.com,  <https://orcid.org/0000-0003-3498-9219>

^f Mg., ✉ tubaycarlos21@outlook.es,  <https://orcid.org/0000-0003-4129-5493>

* Autor de Correspondencia: Tel. +59 3988541124

<http://doi.org/10.25127/riagrop.20252.1057>

<http://revistas.untrm.edu.pe/index.php/RIAGROP>
revista.riagrop@untrm.edu.pe

Recepción: 18 de enero 2025

Aprobación: 12 de marzo 2025

Este trabajo tiene licencia de Creative Commons.
Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0
International Public License – CC-BY-NC-SA 4.0



Resumen

Esta investigación tuvo como objetivo evaluar las características físicas (humedad, cenizas, materia volátil y carbono fijo) en las biomásas de borra de café, tallo y raquis de maíz, así como el potencial energético (poder calorífico) para su posible uso en la elaboración de un biocombustible sólido; para esto se obtuvo la borra de café en la Compañía “EL CAFÉ C.A” del cantón Montecristi-Manabí, mientras el tallo y raquis de maíz en el cantón Pichincha-Manabí; los análisis proximales fueron realizados en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. Los resultados demostraron que la biomasa de borra de café presentó un mayor contenido de humedad, carbono fijo y poder calorífico con valores de 12.8, 3.16 y 14.3% respectivamente, mientras que el tallo se observó una

mayor concentración de cenizas (5.17%) y con respecto a los compuestos volátiles, el requis fue el tratamiento con el valor mas alto (84.06%). Esto demuestra, que tanto el tallo y raquis de maíz, poseen atributos idóneos para ser utilizadas en la fabricación de un biocombustible sólido, no obstante, se pudo observar que la borra de café tiene un potencial energético mayor al del tallo y el raquis de maíz debido a su menor contenido de cenizas, por ende, se recomienda emplear mayores concentraciones esta borra de café para la elaboración de biocombustible.

Palabras claves: Cenizas, humedad, poder calorífico, residuos.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the physical characteristics (humidity, ash, volatile matter and fixed carbon) in the biomasses of coffee grounds, corn stalk and rachis, as well as the energetic potential (calorific value) for its possible use in the elaboration of a solid biofuel; for this purpose, the coffee grounds were obtained from the Company "EL CAFÉ C. A" of the Montecristi-Manabí canton, while the stalk and rachis of corn in the Pichincha-Manabí canton; the proximate analyses were carried out in the Bromatology Laboratory of the Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López. The results showed that the coffee husk biomass presented a higher content of moisture, fixed carbon and calorific value of 12.8, 3.16 and 14.3% respectively, while the stem had a higher concentration of ash (5.17%) and with respect to volatile compounds, the requis was the treatment with the highest value (84.06%). This shows that both the corn stalk and rachis have suitable attributes to be used in the manufacture of a solid biofuel, however, it was observed that the coffee husk has a higher energy potential than the corn stalk and rachis due to its lower ash content, therefore, it is recommended to use higher concentrations of this coffee husk for the production of biofuel.

Keywords: Ash, moisture, calorific value, residues.

1. INTRODUCCIÓN

El incremento acelerado de la población mundial, ha provocado el aumento de los desechos sólidos, especialmente de los orgánicos, producidos, durante las actividades realizadas por el ser humano (Chavan *et al.*, 2022). En el caso de los residuos orgánicos, se estima que su producción alcanzaría los 998 millones de toneladas anuales Raut *et al.* (2023). Los desechos sólidos se incrementarán hasta en un 70%, por lo que es necesario que se adopten medidas urgentes que puedan mitigar la contaminación generada por su acumulación (Silpa *et al.*, 2018).

La producción mundial de café genera más de 5 millones de toneladas de desechos por año Chen *et al.* (2019). Según Agata Nolasco *et al.* (2022), los residuos del café representan más del 90% del peso con relación al peso de la cereza, estos residuos poseen compuestos fenólicos, sin embargo, para Franca y Oliveira (2022), su eliminación es un gran problema desde el punto de vista ambiental, debido a que suelen ser arrojados directamente a la basura, por lo que en su mayoría terminan en los vertederos, siendo altamente contaminantes.

De igual manera Wang *et al.* (2024), mencionan que, otro tipo de biomasa con alto volumen de producción son los rastrojos de maíz, por lo que

debido a su abundancia su empleo en áreas como la agricultura. Si bien, existen estudios en los cuales se reporta un efecto negativo de los residuos de maíz en la concentración de nutrientes como el nitrógeno y presencia de microorganismos beneficiosos, autores como Li *et al.* (2024) que una adecuada concentración y frecuencia de aplicación, podrían incrementar la concentración de nitrógeno y materia orgánica, además de favorecer las condiciones para el desarrollo de bacterias como las *Rhizobiales* e *Hypocreales*, mejorando la salud del suelo.

Una de las alternativas para el aprovechamiento de las biomásas es la creación de biocombustibles sólidos los cuales son una fuente de energía producida y generada a partir de subproductos forestales y vegetales (Awogbemi y Von Kallon, 2022). El uso de estos residuos podría presentar una importante alternativa, frente a la inadecuada gestión que se les da lo que conduciría al deterioro del medioambiente y a impactos en la salud de los seres humanos, además, que su empleo podría reducir pérdidas económicas fortaleciendo la economía circular (Sonu *et al.*, 2023).

El uso de residuos agrícolas está sustentando a su alta conversión energética en comparación a la de fuentes fósiles (Babu *et al.*, 2022). Otro factor importante a considerar es que la provincia de Manabí se caracteriza por su alta producción agrícola, generándose una importante cantidad de residuos y que normalmente no se da un uso, por lo que existe un potencial para el desarrollo de fuentes de energías limpias en la región (Fernández *et al.*, 2020)

Para Malik *et al.* (2023) y Manandhar *et al.* (2022) el uso de los biocombustibles sólidos es una de las alternativas para reemplazar a los

combustibles convencionales en la producción de energía eléctrica, calorífica y, además, va enlazado a la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la demanda por fuentes de energía limpia, económica y renovable.

El estudio de residuos agropecuarios como biomasa de maíz y café, implica el análisis de la composición de subproductos cuyos componentes lignocelulósicos pueden ser convertidos en azúcares simples mediante hidrólisis enzimática (Chávez y Li, 2025), lo cual indicaría si estos desechos pueden ser empleados como materia prima para elaboración de biocombustibles. Por ende, esta investigación tiene una relevancia importante, pues tanto el maíz y café son alimentos de mayor producción en la provincia de Manabí y por lo tanto generan altas cantidades de residuos (Palacios, 2021).

Mediante la presente investigación se pretende evaluar las principales características físicas en las biomásas procedentes de la industrialización de café y maíz (borra de café, tallo y raquis de maíz) y su potencial energético para su posterior uso en la elaboración de biocombustibles sólidos como pellets o briquetas.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Lugar de estudio

La investigación se realizó en el Laboratorio de Bromatología de la Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López (ESPAM MFL), Cantón Bolívar cabecera cantonal Calceta (0°49'35"S 80°11'11"O), provincia de Manabí, Ecuador.

2.2. Recolección de material vegetal

La borra de café se adquirió de la Compañía “EL CAFÉ C.A” del cantón Montecristi-Manabí, mientras el tallo y raquis de maíz del cantón Pichincha-Manabí.

2.3. Caracterización fisicoquímica

Las técnicas de laboratorio que se aplicaron en el estudio fueron; humedad, cenizas, materia volátil, carbono fijo y poder calorífico.

2.3.1. Humedad

La medición de humedad se realizó mediante las técnicas estipuladas por la normativa Asociación Española de Estandarización (UNE-EN 14774-1, 2010), utilizando la siguiente ecuación.

$$\% \text{Humedad} = \frac{(P1+Pm)-P2}{Pm} * 100 \quad (1)$$

Donde: P1= Peso caja Petri vacía; P2 = Peso final de la muestra; Pm= Peso de muestra.

2.3.2. Cenizas

El análisis de cenizas (C), se realizó mediante la técnica estipulada por la normativa de Asociación Española de Estandarización (UNE-EN 14775, 2010), aplicando la fórmula que se detalla a continuación;

$$\%C = \frac{P2-P1}{Pm} * 100 \quad (2)$$

Donde: P1= Peso del crisol vacío; P2 = Peso final de la muestra; Pm = Peso de muestra.

2.3.3. Material Volátil

La determinación de material volátil (Mv), se realizó mediante la técnica estipulada por la

normativa de la Asociación Española de Estandarización (UNE-EN 15148, 2010), utilizando la siguiente ecuación;

$$\% Mv = \left[100 * \frac{P1}{P2} - \% \text{Humedad} \right] - \frac{100}{\% \text{Humedad}} \quad (3)$$

Donde: P1= Peso inicial de la muestra; P2 = Peso final de la muestra.

2.3.4. Carbono fijo

El análisis de carbono fijo (CF) se realizó mediante la técnica estipulada por las normativas de la UNE-EN 14774-1 (2010), UNE-EN 15248 (2010), UNE-EN 14775 (2010) puesto que el resultado es una diferencia entre 100 y el contenido de humedad, cenizas y material volátil, como se detalla en la ecuación.

$$\%CF = 100 - (\% \text{Humedad} + \% \text{Cenizas} + \% \text{Materia volátil}) \quad (4)$$

2.3.5. Poder calorífico

La determinación de poder calorífico (PSC), se realizó mediante la ecuación de aproximación desarrollada por Parikh y Ghosal (2005) en el Departamento de Ingeniería Mecánica del Instituto Nacional de Tecnología Sardar Vallabhbai, quienes determina que:

$$PSC = CF + Mv - C \quad (5)$$

Donde: PCS = Poder calorífico superior; CF = Carbono Fijo; MV = Materia Volátil; ASH = Cenizas

2.4. Análisis de datos.

Se analizó la variabilidad de los resultados mediante una prueba de Anova y tes de Tukey. Los resultados fueron analizados empleando el programa informático Infostad en su versión 2020.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Humedad

Se observaron diferencias significativas en los tratamientos ($p < 0.05$), siendo la borra de café en donde hubo mayor humedad 12.18%, seguido del raquis con 11.08% y el tallo de maíz con 10.00 (Figura 1). Estos resultados son similares a los reportados por López *et al.* (2014) quienes obtuvieron 9.8%, en la cáscara de papa, 10.66 en residuos de tomate y 12.28% en desechos de maíz.

Según Przywara (2023), el contenido de humedad juega un rol importante en las características mecánicas y reológicas de los biocombustibles, lo cual podría afectar su estructura química, por lo que el autor considera que una humedad alta en los residuos no favorecería la calidad del producto final.

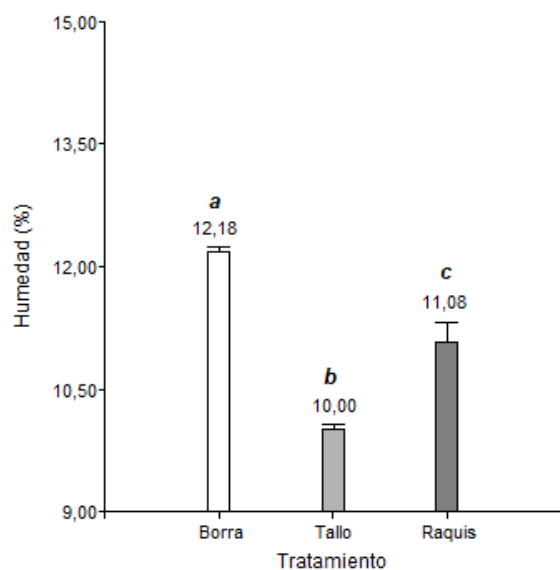


Figura 1. Contenido de Humedad (%). Letras diferentes indican diferencias significativas de los tratamientos ($p < 0.05$).

3.2. Cenizas

En cuanto al contenido de cenizas, se observó que el tallo de maíz presentó una mayor

contracción 5.17%, seguido del raquis (3.42%), mientras que en la borra de café se obtuvo una concentración menor (1.72) como se presenta en la Figura 2. Estos resultados fueron inferiores a los reportados por Petlickaite *et al.* (2022) quien reportó concentraciones que variaron entre 3.9 a 8.8% en residuos obtenidos de cáñamo, maíz y haba. Rodríguez *et al.* (2022) señala que el contenido de cenizas depende de las condiciones de cultivo y composición de la biomasa, así también, si concentración y el poder calorífico de la biomasa podrían tener correlación.

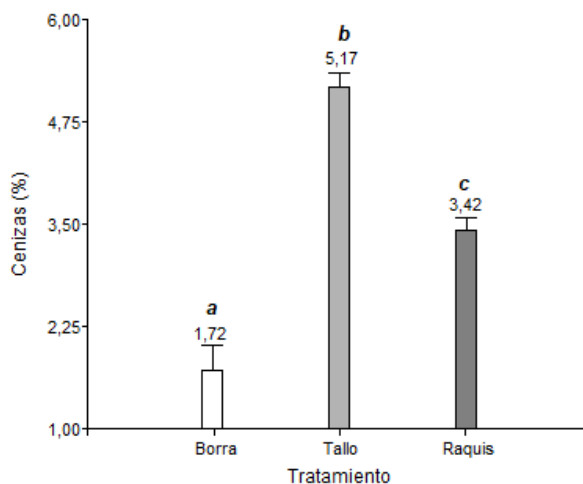


Figura 2. Contenido de Cenizas (%). Letras diferentes indican diferencias significativas de los tratamientos ($p < 0.05$).

3.3. Materia Volátil

El porcentaje de materia volátil de las biomásas de borra de café, tallo de maíz y raquis de maíz fue de 82.93, 83.14, 84.06% respectivamente observándose (Figura 3) diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$). Los resultados presentados fueron mayores a los reportados por Cuervo *et al.* (2022) quien obtuvo 82.25% en residuos de alimentos, y menores a los conseguidos por Martín *et al.* (2023) quien analizó las propiedades físico

químicas de desechos de maíz alcanzando un valor de 88.63% en cuanto al material volátil.

Beltron *et al.* (2019) indica que aquellos biocombustibles con un alto porcentaje de volatilidad (<50%), permitirá que los pellets elaborados ardan con gran facilidad, consiguiendo temperaturas elevadas durante el proceso de combustión y generen una llama de mayor longitud.

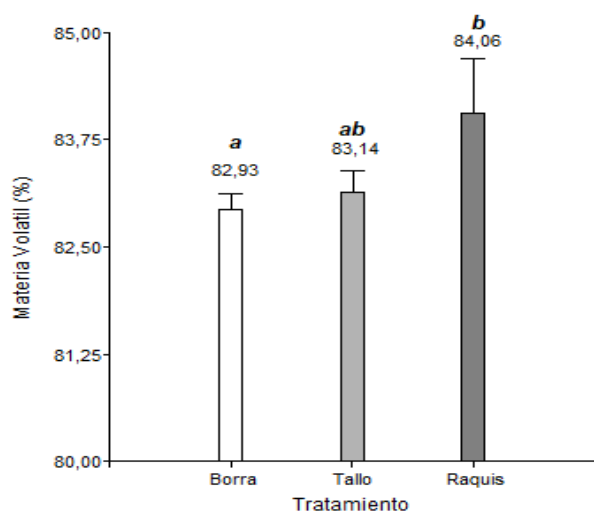


Figura 3. Contenido de Materia volátil (%). Letras diferentes indican diferencias significativas de los tratamientos ($p < 0.05$).

3.4. Carbono fijo

El contenido carbono fijo presentaron diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), siendo la borra de café en donde se observó una mayor concentración (3.16%), en el tallo 1.69 % y en el raquis 1.45% (Figura 4). Manals *et al.* (2018) en su investigación reporta contenidos de carbono fijo de 21.2% en el pino, 20.68% en el Bagazo de uva y 16% en el tallo de tabaco.

El carbono fijo está directamente relacionado con el contenido de humedad, materia volátil y cenizas por lo que su contenido dependerá de

cómo se comporten estas variables dentro del combustible. La normativa DIN 51734 - 2008 menciona que una biomasa sólida generalmente tiene un contenido de carbono fijo de más del 25%, cuando este tiene una humedad inferior a 0.5%.

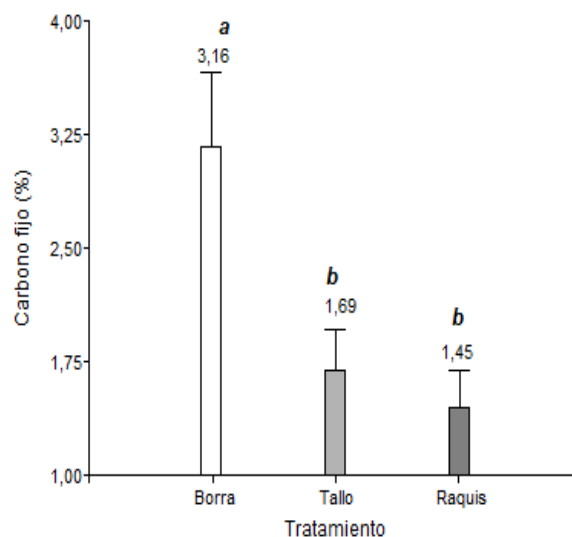


Figura 4. Contenido de carbono fijo (%). Letras diferentes indican diferencias significativas de los tratamientos ($p < 0.05$).

3.5. Poder Calorífico

El potencial energético de en las biomásas analizadas fue de 14.03 Mj/kg en la borra de café, 13.52 Mj/kg en el tallo de maíz y 13.59 Mj/kg en el raquis de maíz (Figura 5). Estos resultados fueron superiores a los obtenidos por Awulo *et al.* (2018) quien analizó el poder calorífico de mazorca de maíz, cascara de arroz y aserrín obteniendo valores de 12.29, 31.18 y 12.22 Mj/Kg respectivamente.

Goclowski *et al.* (2022) detalla que el poder calorífico estará definido por el contenido de cenizas y humedad de la muestra. Respecto al contenido de cenizas, en algunas ocasiones (procesos termoquímicos) disminuyen el poder calorífico porque requieren mayor energía para

la descomposición térmica de los compuestos inorgánicos que las conforman.

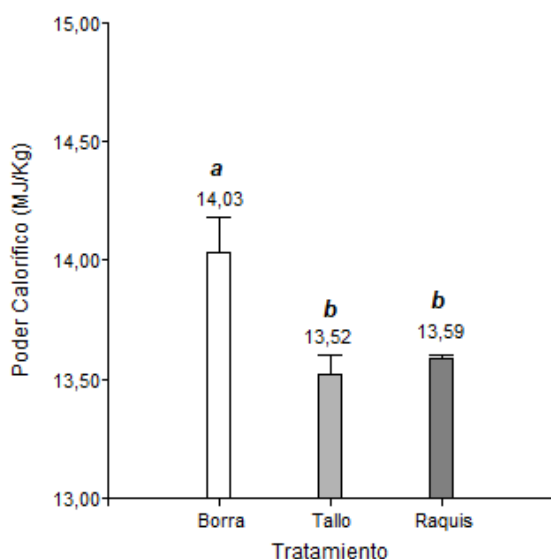


Figura 5. Poder calorífico (Mj/Kg). Letras diferentes indican diferencias significativas de los tratamientos ($p < 0.05$).

En base a los resultados obtenidos, los residuos analizados presentan las características necesarias para ser transformadas biocombustibles, postulándose como una alternativa ante los combustibles de origen fósil (Cruel y Vernaza, 2022), es decir, estos desechos agroindustriales pueden reintroducirse en los cultivos, pero en forma de biocombustibles, beneficiando a los productores y reduciendo su impacto en el medio ambiente generado por su falta de gestión (Núñez, 2012). No obstante, como lo indica Ramos *et al.* (2023), es necesario que en Ecuador se impulsen políticas más consistentes y buscar alianzas estratégicas que conlleven a una verdadera gestión de desechos en el país

4. CONCLUSIONES

La humedad es un factor determinante en la producción de biocombustibles sólidos, ya que

influye directamente con el poder calorífico y la calidad del producto final. Los resultados de este estudio, demostraron que, de las biomásas analizadas, fue la borra de café la que posee mejores atributos, esto debido a su mayor potencial energético y menor contenido de cenizas. Por lo que, se recomienda desarrollar formulaciones para la elaboración de biocombustibles sólidos tipo pellets, en las que se aproveche los residuos analizados, los cuales según los resultados obtenidos presentan características idóneas para su conversión en energía limpia y de esta manera fomentar la autoeficacia emergentica en zonas rurales.

Declaración de intereses

Ninguna.

Referencias

- Agata, N., Squillante, N., Velotto S., D'Auria, G., Ferranti, P., Mamone, G., Errico M.; Avolio, R., Castaldo, R., Cirillo T. & Esposito, F. (2022). Valorization of coffee industry wastes: Comprehensive physicochemical characterization of coffee silverskin and multipurpose recycling applications. *Journal of Cleaner Production*. 370 (1) 1-23. Doi: 10.1016/j.jclepro.2022.133520.
- Asociación Española de Normalización. (2010). *Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa*. UNE-EN 14774-1:2010. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045726#:~:text=14774%2D1%3A2010-,Biocombustibles%20s%C3%B3lidos.,M%C3%A9todo%20de%20secado%20en%20estufa>
- Asociación Española de Normalización. (2010). *Método para la determinación del contenido en cenizas* UNE-EN 14775:2010... <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045971#:~:text=EN%2014775%3A2010-,Biocombustibles%20s%C3%B3lidos.,determinaci%C3%B3n%20del%20contenido%20en%20cenizas.Asociación>

- Española de Normalización (2010). *Determinación del contenido en materias volátiles*. UNE-EN 15148:2010. <https://www.une.org/encuentra-tu-norma/busca-tu-norma/norma?c=N0045972>
- Awogbemi, O. & Von Kallon, D. (2022). Valorization of agricultural wastes for biofuel applications. *Heliyon*, 8 (1) 1-16 Doi:10.1016/j.heliyon.2022.e11117
- Awulu, J., Omale, P. & Ameh, J. (2018). Comparative analysis of calorific values of selected agricultural wastes. *Nigerian Journal of Technology*, 37(4), 1141-1146. Doi:10.4314/njt.v37i4.38
- Babu, S., Singh, S., Singh, R., Kumar, S., K. Singh, V.K., Yadav, S., Yadav, V., Raj, R., Yadav, D., Shekhawat, K. & Ali Wani, O. (2022). Exploring agricultural waste biomass for energy, food and feed production and pollution mitigation: A review. *Bioresource Technology*, 360 (1). Doi:10.1016/j.biortech.2022.127566.
- Beltrón, I., Palacios, H. & Delgado, R. 2018. Evaluación energética de biocombustibles sólidos elaborados a partir de mezclas de biomasa lignocelulósica. *REVISTA RIEMAT*, 4(2), 6. <https://revistas.utm.edu.ec/index.php/Riemat/article/view/2192>
- Chavan, S., Yadav, B., Atmakuri, A., Tyagi, R.D., Wong, C, J. & Drogui, P. (2022). Bioconversion of organic wastes into value-added products: A review. *Bioresource Technology*, 344. Doi: 10.1016/j.biortech.2021.126398.
- Chen, R., Wen, W., Jiang, H., Lei, Z., Li, M., Li, Y.Y. (2019). Energy Recovery Potential of Thermophilic High-Solids Co-Digestion of Coffee Processing Wastewater and Waste Activated Sludge by Anaerobic Membrane Bioreactor. *Bioresource Technology*, 274, 127-133. Doi: 10.1016/j.biortech.2018.11.080
- Cruel, M. & Vernaza, G.D. (2022). Uso de biocombustibles en Ecuador: Una mirada desde la protección de los derechos de la naturaleza. *Revista Venezolana de Gerencia*, 27 (Especial 7), 477-491. <https://doi.org/10.52080/rvgluz.27.7.31>
- Cuervo, J., Betances, M. & Pérez, E. (2021). Caracterización energética y determinación del potencial de generación eléctrica con tecnologías termoquímicas a partir de residuos degradables en Santiago de los Caballeros (República Dominicana). *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones*, 4(2), 21-39. Doi:10.22206/cyap.2021.v4i2.pp21-39
- Chavéz, J. & Li J. (2025). Beyond waste in agriculture: Feedstock characterization for thermochemical conversion based on potato above-ground biomass. *Bioresource Technol*, 418(1), 2-8. doi: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2024.131943>.
- Fernández, B., Paucha, S., Manrique, K. & Poggi, J. (2020). Biomass Energy Potential in Manabí Province. *International Research Journal of Engineering*, 6(3), 17-26. Doi:10.21744/irjeis.v6n3.918
- Franca, A. & Oliveira, L. (2022). Potential Uses of Spent Coffee Grounds in the Food Industry. *Magazine Foods*, 11(14), 20-64. Doi:10.3390/foods11142064
- Goćłowski, J., Korzeniewska, E., Sekulska-Nalewajko, J., Kiełbasa, P. & Drózdź, T. (2022). Method of Biomass Discrimination for Fast Assessment of Calorific Value. *Energies*, 15(7), 2514. Doi:10.3390/en15072514
- Li, H., Zou, Y., Song, W., Xin, J. & Gao, J. (2024), Effects of frequency and amount of stover mulching on the microbial community composition and structure in the endosphere and rhizosphere. *Front. Microbiol*, 15. 1-14. Doi: 10.3389/fmicb.2024.1372471
- López, I.C., Santana, R.C., Artieda, J.R. & Vásquez, C.L. (2024). Evaluación del potencial energético de biomasa residual agrícola como recurso energético renovable en Tungurahua, Ecuador. *Revista Boliviana de Química*, 41(1), 14-23. Epub 00 de abril de 2024. Doi:10.34098/2078-3949.41.1.3
- Malik, K., Capareda, S.C., Kamboj, B.R., Malik, S., Singh, K., Arya, S. & Bishnoi, D.K. (2024). Producción de biocombustibles: una revisión de alternativas sostenibles a los combustibles y fuentes de energía tradicionales. *Fuels*, 5(2), 157-175. Doi. 10.3390/fuels5020010
- Manals, E., Salas, D. & Penedo, M. (2018). Caracterización de la biomasa vegetal cascarilla de café. *Tecnología Química*, 38(1), 169-181. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S222461852018000100013&lng=es&tlng=pt.
- Manandhar, A., Hashem, S., Avval, M., Tatum, J., Shrestha, E., Nazemi, P. & Shah, A. (2022) *Biomass, Biofuels, Biochemicals*. Elsevier. 343-370. Doi: 10.1016/B978-0-12-819242-9.00017-8
- Matin A., Krička, T., Grubor, Mateja, G., Vanja J., Tugomir M., Karlo S., Majdak, J. Matin, B., Jovičić, N., Antonović, A. & Brandić, I. (2023). Energy properties of agricultural biomass after the pyrolysis. *Journal on*

- Processing and Energy in Agriculture*, 27. 39-44. Doi:10.5937/jpea27-43553.
- Núñez, D. (2012). Uso de residuos agrícolas para la producción de biocombustibles en el departamento del Meta. *Revista Tecnura*, 16. 142. 10.14483/udistrital.jour.tecnura.2012.4.a10.
- Sonu, G.R., Pathania, D., Abhimanyu, U.R., Rustagi, S., Suk, Y., Kumar, V., Kaushik, A. & Chaudhary, V. (2023). Agro-waste to sustainable energy: A green strategy of converting agricultural waste to nano-enabled energy applications. *Science of The Total Environment*, 875 (1), 2-18. Doi:10.1016/j.scitotenv.2023.162667.
- Palacios, N. (2023). Factores de producción como determinantes de la productividad del maíz en la provincia de Manabí. *Sinergia*, 14(1), 87-96. doi: <https://doi.org/10.33936/ecasinergia.v14i1.4178>
- Parikh, J., Channiwala, S. & Ghosal, G. (2005). A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid. *Magazine Fuel*, 84(5), 487-494. Doi: 10.1016/j.fuel.2004.10.010
- Przywara, M., Przywara, R., Chutkowski, M., Zapała, W. & Opaliński, I. (2023). Influencia del contenido de humedad y la composición de residuos agrícolas con mezclas de carbón duro en las propiedades mecánicas y reológicas. *AgriEngineering*, 5 (1), 425-440. Doi: 10.3390/agriengineering5010028
- Petlickaite, R., Jasinskas, A., Mieldažys, R., Romaneckas, K., Praspaliauskas, M. & Balandaite, J. (2022). Investigation of Pressed Solid Biofuel Produced from Multi-Crop Biomass. *Sustainability*, 14, 799. Doi:10.3390/su14020799
- Raut, N.A., Kokare, D.M., Randive, K.R., Bhanvase, B.A. & Dhoble, S.J. (2023). Introduction: fundamentals of waste removal technologies En *360-Degree Waste Management*, 1, 1-16. Doi:10.1016/B978-0-323-90760-6.00009-6
- Ramos, A., Castillo, D., Cedeño, R. & Ramos, J. (2023). Panorama Energético de los Biocombustibles en el Ecuador. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 10254-10275. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v7i4.7729Rodríguez, L., Gutiérrez, C., García, J. F., Feregrino, A. (2022). Estudio comparativo de modelos matemáticos para predecir el poder calorífico de residuos agrícolas mexicanos. *Revista Tecnológicas*, 25(53), 21-42. Doi:10.22430/22565337.2142
- Silpa, K., Yao, C., Bhada-Tata, P. & Van, F. (2018). What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. *Urban Development*. Washington, DC: World Bank. <http://hdl.handle.net/10986/30317>
- Wang, G., Gao, X., Fu, M., Zhou, Z., Song, K. & Li, J. (2024). Sustainable Corn Stubble Management Is Site Specific: A Study in Northeastern China. *Sustainability*, 16(15), 6605. Doi:10.3390/su16156605