

RESIDUOS REVALORIZABLES: UNA OPORTUNIDAD DE DESARROLLO MANABITA

REVALUABLE WASTE: A MANABITA DEVELOPMENT OPPORTUNITY

María Antonieta Riera¹, Mabel Laz-Mero¹, Miguel Alejandro Tuárez-Párraga²

¹Departamento de Procesos Químicos, Alimentos y Biotecnología, Carrera de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias Matemáticas, Físicas y Químicas, Universidad Técnica de Manabí. Portoviejo, Manabí – Ecuador.

²La Fabril S.A. Ubicación: Montecristi, Km 5 ½ vía Manta, Manabí – Ecuador.

Email: maria.riera@utm.edu.ec

Información del artículo

Tipo de artículo:
Artículo de revisión

Recibido:
23/01/2024

Aceptado:
06/05/2024

Licencia:
CC BY-NC-SA 4.0

Revista
ESPAMCIENCIA
15(1):12-20

DOI:
https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1.466

Resumen

La producción agrícola es una de las actividades con gran importancia económica en los países de Suramérica. Manabí, provincia de Ecuador, destaca como productor agrícola, contribuyendo significativamente a la economía nacional. Sin embargo, la agricultura también genera gran cantidad de residuos, lo que plantea desafíos ambientales y de sostenibilidad. Dentro de este contexto, el presente estudio busca alternativas para revalorizar estos residuos agrícolas en lugar de desecharlos, mediante una metodología que incluye análisis de datos históricos de producción, estimación de la cantidad de residuos generados y revisión bibliográfica para identificar posibles usos. Los resultados revelan un aumento constante en la producción de maíz (*Zea mays*) en la última década y estabilidad en otros cultivos. Se destacan el rastrojo de maíz y el follaje de palma aceitera (*Elaeis guineensis*) como principales residuos para los rubros cultivables analizados. La revisión bibliográfica sugiere diversas aplicaciones para estos residuos, como alimentación animal, bioenergía y productos químicos biobasados. Se resalta la importancia de adoptar métodos sostenibles para la transformación de estos residuos, a través de distintos procesos que permitan impulsar el desarrollo sostenible en Manabí y contribuir a una economía circular.

Palabras clave: Biomasa, economía circular, residuos agrícolas, sostenibilidad.

Abstract

Agricultural production is one of the activities with great economic importance in the countries of South America. Manabí, province of Ecuador, stands out as an agricultural producer, contributing significantly to the national economy. However, agriculture also generates a large amount of waste, which poses environmental and sustainability challenges. Within this context, the present study seeks alternatives to revalue this agricultural waste instead of disposing of it, through a methodology that includes analysis of historical production data, estimation of the amount of waste generated and literature review to identify possible uses. The results reveal a constant increase in corn (*Zea mays*) production in the last decade and stability in other crops. Corn stubble and oil palm foliage (*Elaeis guineensis*) stand out as the main waste for the arable crops analyzed. The literature review suggests various applications for these wastes, such as animal feed, bioenergy, and biobased chemicals. The importance of adopting sustainable methods for the transformation of this waste is highlighted, through different processes that allow promoting sustainable development in Manabí and contributing to a circular economy.

Keywords: Biomass, circular economy, agricultural waste, sustainability.

INTRODUCCIÓN

El sector agrícola de Ecuador desempeña un papel significativo para su economía, representando el 7,7% del Producto Interno Bruto (PIB), según datos del BCE

(2021). Esto se traduce a una producción agrícola de 22,6 millones de toneladas (Mt) por año, de las cuales 1,2 Mt corresponden a cultivos de la provincia de Manabí, donde más del 90% incluye los rubros: maíz duro seco (*Zea mays*), plátano (*Musa paradisiaca*), palma aceitera (*Elaeis*

guineensis), arroz (*Oryza sativa*) y cacao (*Theobroma cacao*), con un enfoque hacia la agroindustria para la producción de alimentos (INEC y MAG, 2022).

Manabí también juega un papel relevante en la exportación de productos generando ingresos cruciales para la economía del Ecuador. Es la tercera provincia del país que más exporta, con una participación del 17,4 % después de Pichincha y Guayas con 17,7 % y 32,6 % respectivamente (MIPRO, 2022). Entre los productos exportados, se destacan el cacao (*Theobroma cacao*), el banano y el camarón, representando en la actualidad una de las principales fuentes de ingresos para el país, los cuales se convierten en bienes de intercambio global en los mercados internacionales (Taco-Lambert & Pizarro-Romero, 2023).

El cacao manabita, por ejemplo, encuentra su camino hacia los mercados de Europa, América del Norte y Asia, donde es utilizado en la producción de chocolate y otros productos de confitería (Cedeño-Coll & Dilas-Jiménez, 2022). El banano es altamente demandado en Norteamérica y Europa, donde se aprecia su calidad y sabor (PROECUADOR, 2023). Por su parte, el camarón ecuatoriano, y en particular el producido en Manabí, se exporta principalmente a Estados Unidos, Europa y Asia, siendo apreciado por su frescura y sabor exquisito (CAMA, 2021). Estos mercados internacionales no solo son vitales para la economía de la provincia, sino que también contribuyen de manera significativa a la balanza comercial de Ecuador, posicionando al país como un importante exportador de productos agrícolas y marinos a nivel global (Acosta-Ascuntar, 2023).

No obstante, estas actividades agrícolas también generan grandes volúmenes de residuos que se desechan sin control, ocasionando consecuencias negativas para el ecosistema, incluyendo la proliferación de plagas, entre otros problemas ambientales (Castro et al., 2020). La disposición final de estos residuos a menudo implica su traslado a vertederos o incineradoras, prácticas que pueden tener un impacto negativo tanto para el ambiente como a la comunidad local. La necesidad de encontrar alternativas sostenibles se vuelve cada vez más apremiante (Jurado-Erazo et al., 2023).

Una de las claves para aprovechar estos residuos, es la revalorización, la cual consiste en aprovechar aquellos subproductos, que, en lugar de ser considerados simplemente basura, pueden ser recuperados y procesados para crear nuevos productos o recursos energéticos (Salazar-Acuña, 2020), mediante una amplia gama de procesos químicos y biotecnológicos (Aguiar et al., 2022). Esto se debe a que contienen gran cantidad de compuestos de interés comercial (Espinosa-Negrín et al., 2022), como la lignina, celulosa, hemicelulosa, (Rojas-González et al., 2019), lípidos, proteínas, entre otros.

Durante los últimos años se han registrado algunos trabajos de valorización de residuos agroindustriales y agrícolas, utilizados en la generación de energías y fabricación de biocombustibles (Martínez-Balderramo et al., 2022), producción de bioplásticos (Calero-Zurita et al., 2021; Macías Bazurto & Zambrano Valencia, 2023), obtención de glicerol (Monteiro et al., 2018), compostaje (Cázares et al., 2016), y la creación de estructuras celulósicas (Zuluaga et al., 2019), con lo cual se evidencia la tendencia de utilizar residuos mediante simbiosis agroindustrial (Rodríguez, 2023).

El propósito de este estudio es evaluar el potencial que tiene la provincia de Manabí en el aprovechamiento de residuos agrícolas, identificando oportunidades de revalorización, contribuyendo así al desarrollo sostenible en la región, al convertir estos residuos en recursos valiosos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en tres etapas, tal como se muestra (Figura 1).

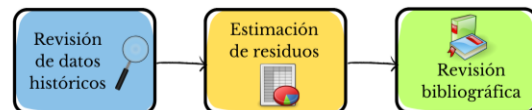


Figura 1. Etapas de la investigación.

Revisión de datos históricos

La revisión de datos se realizó consultando las cifras agroproductivas reportadas en el Sistema de Información Pública del Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (INEC y MAG, 2022), con el fin de identificar los rubros cultivables con mayor producción en el país, durante los últimos 10 años.

Estimación de residuos

Para la estimación de residuos, se utilizó el módulo de recursos naturales del método de evaluación rápida (RA) de bioenergía y seguridad alimentaria “The Bioenergy and Food Security” (BEFS) de la FAO (2014). RA consiste en un conjunto de metodologías desarrolladas para conocer el potencial que tienen los países para obtener bioenergía sostenible, a partir de distintas biomásas, cubriendo toda la cadena de suministro de biocombustible desde la producción de la materia prima hasta la planta de procesamiento (FAO, 2014a). Pese a que está destinado sólo a la generación de bioenergía, podría ser aplicable a la producción de distintos tipos de bioproductos.

Este método (RA) utiliza una herramienta alojada en un archivo Excel compuesto por cinco hojas de cálculo que contienen una introducción al módulo de recursos naturales con un diagrama de flujo de los distintos análisis

que se realizan bajo este módulo, la hoja de residuos agrícolas y ganaderos, donde se evalúa la cantidad de residuos de cultivos potencialmente disponibles y por último, la hoja resultados de los residuos agropecuarios en la que se reporta la cantidad de residuos agrícolas disponibles. La estimación de residuos se lleva a cabo en la hoja de residuos agrícolas y ganaderos. Aquí se selecciona el cultivo, se define el tipo de residuo, la producción anual y el rendimiento del rubro cultivable, el número de cosechas por año y se utiliza una relación de residuos a cultivos (RGR), que depende del tipo de cultivo y está dada por la cantidad de residuos generados en base a la cantidad del producto principal del cultivo (FAO, 2019). Las ecuaciones (1) al (4) señaladas por Riera y Palma (2022), expresan el método descrito:

$$\begin{aligned} \text{Residuos generados (RG)} &= \text{Producción} * \text{RGR} & (1) \\ \text{Residuos dejados en el campo (RD)} &= \text{PR} * \% \text{RD} & (2) \\ \text{Otros usos (OU)} &= \text{PR} * \% \text{OU} & (3) \\ \text{Residuos disponibles} &= \text{RG} - (\text{RD} + \text{OU}) & (4) \end{aligned}$$

Donde % RD representa el porcentaje de residuos dejados en el campo para sostenibilidad del suelo, aunque el método recomienda un 25% puede ser definido por el usuario. % OU hace referencia a la cantidad del residuo que se destina a otros usos. Este es un valor que define el usuario y en este trabajo se estableció en 20%, por considerar que esta cantidad de los residuos se destina a alimentación animal. El método también tiene en cuenta un porcentaje por residuos quemados en el campo, que puede ser establecido por el usuario.

La herramienta en la que se apoya el método BEFS-RA posee información de 245 países, referente a la producción anual en toneladas (t) y rendimiento de cultivos en toneladas por hectárea (t/ha), de acuerdo con lo reportado por los organismos oficiales de cada uno de estos países. Sin embargo, en esta investigación se utilizaron los datos de producción anual (t) y rendimiento (t/ha) de la provincia Manabí ubicada en Ecuador, registrados en el Sistema de Información Pública del Ministerio de Agricultura y Ganadería de este país entre los años 2013 a 2022 (INEC y MAG, 2022).

Revisión bibliográfica

Se revisó fuentes primarias y secundarias, publicados en los últimos 10 años en bases de datos regionales y de alto impacto (Scopus, Web of Science), tanto en inglés como español, con el fin de conocer la composición de los residuos, su potencial calorífico, los productos que se pueden obtener a partir de los residuos estimados en la etapa anterior, así como también los posibles esquemas de procesamiento para la transformación de dichos residuos a bioproductos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Revisión de datos históricos

Manabí es una de las provincias costeras del Ecuador, donde se encuentran gran cantidad de comunidades agrícolas. Los rubros con mayor producción en esta zona del país son: maíz duro seco, plátano, palma aceitera, arroz y cacao (INEC y MAG, 2022). En el gráfico 1 se evidencia que en los últimos 10 años existe un aumento constante en la producción de maíz duro seco, que ha variado entre 224,104 t y 545,703 t. En contraste, la producción de plátano se ha mantenido estable, oscilando entre 228,021 t y 338,325 t. Por otra parte, cultivos como arroz, cacao y aceite de palma se han mantenido por debajo de 120 000 t, a excepción del incremento de palma ocurrido durante el 2018 con 273 988 t.

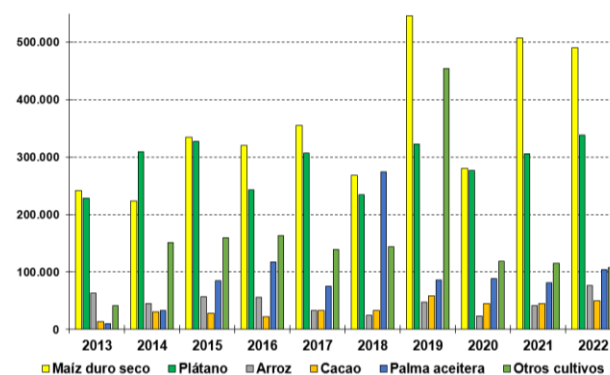


Gráfico 1. Principales cultivos en la provincia de Manabí.

Estimación de residuos

La estimación de residuos se realizó para cuatro de los cinco rubros cultivables con mayor producción. Se exceptuó el plátano, por no estar disponible en el listado de cultivos de la herramienta de la FAO utilizada. Para los cuatro rubros cultivables, dicha herramienta registra nueve tipos de residuos (Figura 2).



Figura 2. Residuos identificados para cuatro de los principales cultivos de Manabí.

Para cada uno de los residuos identificados por rubro cultivable, se estimó la cantidad generada en los últimos 10 años, usando para tal fin el método RA-BEFS descrito anteriormente (Gráfico 2).

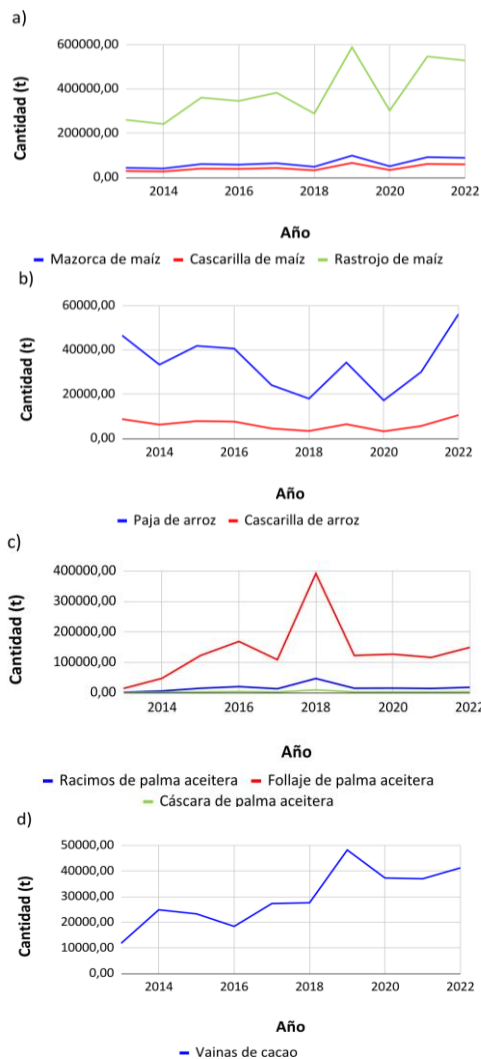


Gráfico 2. Estimación de residuos para cuatro de los principales cultivos de Manabí.

Cuadro 1. Composición CHL de los residuos analizados

Cultivo	Residuo	C (%)	H (%)	L (%)	Fuente
Maíz	Cascarilla	5,30	40,40	2,87	Kaliyan y Morey (2010)
	Mazorca	40,0	41,40	5,80	Ibrahim <i>et al.</i> (2019)
	Rastrojo	49,4	26,20	8,80	Kaliyan y Morey (2010)
Arroz	Paja	30,30 - 38,20	19,80 – 31,60	7,20 - 12,80	Jin y Chen (2007)
	Cascarilla	35,62 ± 0,12	11,96 ± 0,73	15,38 ± 0,20	Saha <i>et al.</i> (2005)
Palma	Racimos	38,30	35,30	22,90	Van Dam (2017)
	Follaje	43,20	5,20	51,60	Pato <i>et al.</i> (2021)
	Cáscara	20,80	22,70	49,90	Van Dam (2017)
Cacao	Vainas	35,40 ± 0,33	37,00 ± 0,50	14,70 ± 0,30	Daud <i>et al.</i> (2013)

Los residuos agrícolas son potencialmente utilizables, como fuente para la obtención de biopolímeros, como la celulosa. Entre los más adecuados para tal fin, resaltan la paja de soja, cáscara y rastrojos de maíz, hojas y bagazo de caña de azúcar (Araújo *et al.*, 2019). La hemicelulosa es de interés para la extracción de azúcares fermentables, mientras que la lignina en los últimos años se ha utilizado para la obtención de nanopartículas con aplicaciones

La cantidad de residuos producidos tiene un comportamiento variable, que depende de la producción de cada uno de los rubros analizados, notando un incremento en la producción agrícola de la provincia en los últimos años. Para el maíz, el rastrojo es quien posee mayor disponibilidad. En el caso del arroz, predomina la paja y en cuanto a la palma aceitera, el follaje es el de mayor producción. Según la estimación realizada, el rastrojo de maíz seguido del follaje de palma aceitera registra mayor generación de residuos, con 528606 t y 148967 t respectivamente.

Araújo *et al.* (2019), para los principales cultivos del Brasil estimó una producción promedio de 108 Mt al año de residuos agroindustriales. Las biomásas agrícolas son un recurso importante en la instalación de biorrefinerías de pequeña escala, al permitir el uso de los recursos locales disponibles a la vez que involucra a las partes interesadas para el desarrollo conjunto y el despliegue del mercado (De Visser & Van Ree, 2016). Este tipo de instalaciones constituyen una oportunidad, particularmente para los países en vías de desarrollo y con vocación agrícola como el caso del Ecuador, donde la agricultura representa una porción importante de la economía y la sociedad (Bisangy & Regúnaga, 2019).

Revisión bibliográfica

Un determinante en el uso de los residuos agrícolas es su composición. Entre los compuestos de interés de las biomásas lignocelulósicas, se encuentran la celulosa (C), hemicelulosa (H) y lignina (L), especialmente en la obtención de azúcares fermentables (Cuadro 1).

diversas. Otra variable de interés en los residuos es su poder calorífico (Cuadro 2), la cual se define como la cantidad de energía que se produce en la combustión completa de una unidad de masa o de volumen de un combustible (Burschel *et al.*, 2003). El poder calorífico superior (PCS) hace referencia al calor total que se produce en la combustión y el inferior (PCI), al calor aprovechable.

Cuadro 2. PCS de los residuos analizados.

Cultivo	Residuo	PCS (MJ/kg)	Fuente
Maíz	Cascarilla	16,14	Reinehr et al., 2020
	Mazorca	15,88	Berastegui et al. 2017
	Rastrojo	16,9	Marafon et al., 2021
Arroz	Cascarilla	16,5	Valverde et al., 2007
	Paja	19,88	Sagastume et al. 2017
Palma aceitera	Racimos	21,30	Zavala et al., 2021
	Follaje	21,30	Abnisa et al., 2013
Cacao	Cáscara	12,56	Forero et al., 2012
	Vainas	18,85	Zavala et al., 2021

Se encontró que los provenientes de la palma aceitera, son los que reportan mayor PCS. Una biomasa con alto poder calorífico podría servir para generar bioenergía con elevado rendimiento energético. El PCS es una medida del potencial energético que estos residuos tienen para autoabastecer un proceso de biorrefinación o para generar energía. Otros usos dados a los residuos analizados se presentan (Cuadro 3).

Cuadro 3. Diversos usos dados a los residuos analizados.

Cultivo	Residuo	Usos	Fuente de consulta
Maíz	Mazorca	Fabricación de Concreto	Ahmad et al. (2023).
	Cascarilla	Absorbente para biorremediación ambiental, producción de bioenergía	Ponce et al. (2021); Gómez-Vásquez et al. (2022).
	Rastrojo	Biocoque, biorremediación ambiental, alimentación animal, producción de furfural, xilitol y carbón activado, generar calor y energía	Kaliyan y Morey (2010); Tryner et al. (2014); Gani et al. (2023); Huang et al. (2023).
Arroz	Paja	Fabricación de Bio-silica	Ekwenna et al. (2023)
	Cascarilla	Biorremediación ambiental, bioproductos, compuestos fenólicos	Goodman (2020); Corrales-Centeno et al. (2023); Kumar et al. (2023); Kaur & Ubeyitogullari (2023).
Palma aceitera	Racimos	Biopolímeros, producción de metano, suplementos de carbono para suelos y retorno de nutrientes	Vam Dam (2017); Nurika et al. (2023); Sazuan et al. (2023).
	Follaje	Tableros, producción de carbón activado	Maulina & Anwari (2018); Wahab et al. (2021).
	Cáscara	Fabricación de concreto, biorremediación ambiental, asfalto, adsorción de fenol, generación de energía por combustión, gasificación o pirólisis	Vam Dam (2017); Ogundipe et al. (2021); Aliyu-Yaro et al. (2022); Chong-Lua (2022); Pranolo et al. (2022); Tagbor et al. (2022).
Cacao	Vainas	Producción de soda cáustica, dietas para ovejas lechera, potencial antimicrobiano, fabricación de pulpa y papel, biocarbón y generación de energía	Daud et al. (2013); Marín Armijos et al. (2018); Daniyan et al. (2019); Carta et al. (2020); Desvita et al. (2022).

CONCLUSIONES

La provincia de Manabí en Ecuador, registra a la producción agrícola como fuente de ingreso importante para la economía local y nacional. Pese a ello, también representa un problema creciente de contaminación por generación de residuos agrícolas. La estimación de residuos realizada en esta investigación, revela que existe una cantidad de biomasa lignocelulósica disponible, con potencial de ser utilizada como materia prima en la obtención de productos químicos biobasados, además de bioenergía. La revalorización de estos residuos agrícolas emerge como una estrategia esencial para promover el desarrollo sostenible en Manabí, al mismo tiempo que reduce los impactos ambientales negativos. Esta iniciativa no solo contribuirá a la preservación del entorno natural, sino que también creará oportunidades económicas significativas en las comunidades agrícolas locales a través de la utilización eficaz de estos valiosos recursos.

LITERATURA CITADA

- Abnisa, F., Arami-Niya, A., Wan Daud, W., Sahu, J. & Noor, I. 2013. Utilization of oil palm tree residues to produce bio-oil and bio-char via pyrolysis. *Energy Conversion and Management*, 76:1073-1082. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2013.08.038>
- Acosta-Ascuntar, E. S. 2023. La diversificación de las exportaciones ecuatorianas y su relación con el crecimiento económico [Tesis pregrado, Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/14239>
- Aguiar, S., Estrella, M. E., & Cabadiana, H. U. 2022. Residuos agroindustriales: Su impacto, manejo y

- aprovechamiento. AXIOMA, 27.
<https://doi.org/10.26621/ra.v1i27.803>
- Ahmad, J., Arbili, M. M., Alabduljabbar, H., & Deifalla, A. F. 2023. Concrete made with partially substitution corn cob ash: A review. *Case Studies in Construction Materials*, 18: e02100.
<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02100>
- Aliyu-Yaro, N. S., Sutanto, M. H., Habib, N. Z., Napiah, M., Usman, A., Jagaba, A. H., & Al-Sabaei, A. M. 2022. Application and circular economy prospects of palm oil waste for eco-friendly asphalt pavement industry: A review. *Journal of Road Engineering*, 2(4):309-331.
<https://doi.org/10.1016/j.jreng.2022.10.001>
- Araújo, D. J. C., Machado, A. V., & Vilarinho, M. C. L. G. 2019. Availability and suitability of agroindustrial residues as feedstock for cellulose-based materials: Brazil case study. *Waste and Biomass Valorization*, 10: 2863-2878.
- BCE (Banco Central del Ecuador). 2021. Producto interno bruto por industria [boletín técnico]. Encuesta de superficie y producción agropecuaria continua, 2020. Recuperado el 14 de septiembre de 2023 de <https://www.bce.fin.ec/component/search/?searchword=pib&start=0>
- Berastegui Barranco, C., Ortega Rodríguez, J. P., Mendoza Fandiño, J. M., González Doria, Y. E. & Gómez Vásquez, R. D. 2017. Elaboración de biocombustibles sólidos densificados a partir de tusa de maíz, bioaglomerante de yuca y carbón mineral del departamento de Córdoba. *Ingeniare*, 25 (4): 643-653.
<https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400643>
- Bisangy, R. & Regúnaga, M. 2019. Modelos de negocios bioeconómicos para una nueva matriz productiva. <http://webiiep.econ.uba.ar/uploads/novedades/108/archivos/3.pdf>
- Burschel, H., Hernandez, A., Lobos, M. 2003. Leña: una fuente energética renovable para Chile. Chile: Editorial Universitaria.
- Calero-Zurita, M., De Santis Arauz, D., Rivas Sierra, D., y Bernal Gutiérrez, A. (2021). Estado del arte de bioplástico proveniente de los residuos agroindustriales del plátano (musa paradisiaca), para la producción de envases biodegradables. *Revista Ingeniería e Innovación*, 9 (1), 10.
<https://revistas.unicordoba.edu.co/index.php/rii/articler/view/2416>
- CAMAE (Cámara Marítima del Ecuador). 2021. Camarón encabeza las exportaciones no petroleras durante la primera mitad del año. Camae. Recuperado el 15 de septiembre de 2023 de <http://www.camae.org/camaron/camaron-encabeza-las-exportaciones-no-petroleras-durante-la-primera-mitad-del-ano/>
- Carta, S., Nudda, A., Cappai, M. G., Lunesu, M. F., Atzori, A. S., Battacone, G., & Pulina, G. 2020. Short communication: Cocoa husks can effectively replace soybean hulls in dairy sheep diets—Effects on milk production traits and hematological parameters. *Journal of Dairy Science*, 103(2):1553-1558.
<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17550>
- Castro, H., Contreras, E., y Rodríguez, J. P. 2020. Análisis ambiental: impactos generados por los residuos agrícolas en el municipio de El Dorado (Meta, Colombia). *Revista Espacios*, 41(38):42–50.
<https://www.revistaespacios.com/a20v41n38/a20v41n38p05.pdf>
- Cázares, A., Real, N., Delgado, M., Bautista, L., y Velasco, J. 2016. Residuos agroindustriales con potencial de compostaje. *Agroproductividad*, 9(8):10–17.
<http://colposdigital.colpos.mx:8080/jspui/handle/10521/2642>
- Cedeño-Coll, E. P. C., & Dilas-Jiménez, J. O. 2022. Producción y exportación del cacao ecuatoriano y el potencial del cacao fino de aroma. *Qantu Yachay*, 2(1):1. <https://doi.org/10.54942/qantuyachay.v2i1.17>
- Chong-Lua, A. 2022. A comparative study of the pore characteristics and phenol adsorption performance of activated carbons prepared from oil-palm shell wastes by steam and combined steam-chemical activation. *Green Chemical Engineering*.
<https://doi.org/10.1016/j.gce.2022.11.004>
- Corrales-Centeno, A., Sanchez Muñoz, S., Severo Gonçalves, I., Sanchez Vera, F. P., Soares Forte, M. B., da Silva, S. S., dos Santos, J. C., & Terán Hilares, R. 2023. Valorization of rice husk by hydrothermal processing to obtain valuable bioproducts: Xylooligosaccharides and Monascus biopigment. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 6:100358.
<https://doi.org/10.1016/j.carpta.2023.100358>
- Daniyan, I. A., Mporu, K., Daniyan, O. L., Adeodu, A. O., & Uchegbu, I. D. 2019. Design and Modelling of Automated Reactor for the Production of Caustic Potash from Cocoa Pod Husk. *Procedia CIRP*, 84, 960-965.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.03.201>
- Daud, Z., Kassim, A. S. B. M., Aripin, A. M., Awang, H. & Hatta, M. Z. M. 2013. Chemical composition and

- morphological of cocoa pod husks and cassava peels for pulp and paper production. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 7(9):406-411. <http://www.ajbasweb.com/old/ajbas/2013/July/406-411.pdf>
- Desvita, H., Faisal, M., Mahidin, & Suhendrayatna. 2022. Antimicrobial potential of wood vinegar from cocoa pod shells (*Theobroma cacao* L.) against *Candida albicans* and *Aspergillus niger*. *Materials Today: Proceedings*, 63:S210-S213. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.410>
- De Visser, C. d. & Van Ree, R. 2016. Small-scale Biorefining. Wageningen University & Research. <https://library.wur.nl/WebQuery/wurpubs/512997>
- Espinosa-Negrín, A. M., López-González, L. M., Casdelo-Gutiérrez, N. L., Espinosa-Negrín, A. M., López-González, L. M., & Casdelo-Gutiérrez, N. L. 2022. Pretratamientos aplicados a biomásas lignocelulósicas: Una revisión de los principales métodos analíticos utilizados para su evaluación. *Revista Cubana de Química*, 34(1):87-110.
- Ekwenna, E. B., Wang, Y., & Roskilly, A. 2023. The production of bio-silica from agro-industrial wastes leached and anaerobically digested rice straws. *Bioresource Technology Reports*, 22:101452. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101452>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014. Bioenergía y seguridad alimentaria. Evaluación rápida. BEFS RA. Manual de usuario [Archivo pdf]. Extraído el 14 de septiembre de 2023 de <http://www.fao.org/3/bp843s/bp843s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2014a. El planteamiento sobre bioenergía y seguridad alimentaria BEFS de la FAO. Guía de implementación [Archivo pdf]. Extraído el 14 de septiembre de 2023 de <https://www.fao.org/3/i3672s/i3672s.pdf>
- FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations). 2019. Natural resources - Biomass Potential Assessment [Archivo en Excel]. Extraído el 14 de septiembre de 2023 de https://www.fao.org/fileadmin/user_upload/energy/befs/natural_resources/external/Agricultural_Residues_tool_3.0.xlsm
- Forero Núñez, C., Cediell Ulloa, A., Rivera Gil, J., Suaza Montalvo, A. & Sierra Vargas, F. 2012. Preliminary study on the energetic Potential of Palm cuesco and coconut shellin Colombia. *Ingeniería Solidaria*, 8 (14):19-25. <https://revistas.ucc.edu.co/index.php/in/article/view/340>
- Gani, A., Erdiwansyah, Munawar, E., Mahidin, Mamat, R., & Rosdi, S. M. 2023. Investigation of the potential biomass waste source for biocoke production in Indonesia: A review. *Energy Reports*, 10:2417-2438. <https://doi.org/10.1016/j.egyvr.2023.09.065>
- Gómez-Vásquez, R., Fernández-Ballesteros, E., & Camargo-Trillos, D. 2022. Biogenic nanoporous oxides recovery from by-products of bioenergy production: Rice husks and corncob biochars. *Biomass and Bioenergy*, 161:106455. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2022.106455>
- Goodman, B. A. 2020. Utilization of waste straw and husks from rice production: A review. *Journal of Bioresources and Bioproducts*, 5(3):143-162. <https://doi.org/10.1016/j.jobab.2020.07.001>
- Huang, K., Wang, L., Li, M., Mi, T., Zhang, J., Liu, J., & Yi, X. 2023. Mechanism of porous ceramic fabrication using Second Aluminum Dross assisted by corn stalk as pore-forming agent. *Environmental Technology & Innovation*, 31:103195. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103195>
- Ibrahim, M., Sapuan, S., Zainudin, E. & Zuhria, M. 2019. Extraction, Chemical Composition, and Characterization of Potential Lignocellulosic Biomasses and Polymers from Corn Plant Parts. *BioResources*, 14 (3):6485-6500. <https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/download/BioRes/14/3/6485> Ibrahim Extraction Chemical Composition Corn/6979
- INEC (Instituto Nacional de Estadísticas y Censos y Ministerio de Agricultura y Ganadería). 2022. Información productiva territorial. Recuperado el 14 de septiembre de 2023 de <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/cifras-agroproductivas>
- Jin, S. & Chen, H. 2007. Near-infrared analysis of the chemical composition of rice straw. *Industrial Crops and Products*, 26 (2):207-211. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.03.004>
- Jurado-Erazo, D. K., Tulcán-Cuasapud, Y. A., & Rojas González, A. F. 2023. Perspectivas de valorización de residuos de frutas a partir de sus características físicas. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 24(1), e3016. https://doi.org/10.21930/rcta.vol24_num1_art:3016
- Kaliyan, N., & Morey, R. V. 2010. Densification characteristics of corn cobs. *Fuel Processing*

- Technology, 91(5):559-565. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.01.001>
- Kaur, S., & Ubeyitogullari, A. 2023. Extraction of phenolic compounds from rice husk via ethanol-water-modified supercritical carbon dioxide. *Heliyon*, 9(3). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14196>
- Kumar, R., Sharma, P., Rose, P. K., Sahoo, P. K., Bhattacharya, P., Pandey, A., & Kumar, M. 2023. Co-transport and deposition of fluoride using rice husk-derived biochar in saturated porous media: Effect of solution chemistry and surface properties. *Environmental Technology & Innovation*, 30, 103056. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103056>
- Macías-Bazurto, J. V., & Zambrano Valencia, D. M. 2023. Evaluación de la quitina en la producción de almidón termoplástico con base de cáscara de plátano [Tesis pregrado, Calcuta: ESPAM MFL]. <http://repositorio.espam.edu.ec/handle/42000/2137>
- Marafon, A. C., Amaral, A. F. C., Machado, J. C., Carneiro, J. D. C., Bierhals, A. N., & Guimaraes, V. D. S. 202. Chemical composition and calorific value of elephant grass varieties and other feedstocks intended for direct combustion. *Grassland Science*, 67(3):241-249.
- MarínArmijos, J., García Batista, D. C. R. M. & Barrezueta-Unda, D. C. S. 2018. Elaboración de biocarbón obtenido a partir de la cáscara del cacao y raquis del banano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 6 (3):75-81. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/221>
- Martínez-Balderramo, L. Á., Cheme-Rodríguez, S. D., Baquerizo-Crespo, R. J., & Riera, M. A. 2022. Simulation of an anaerobic digestion system for agricultural residuals generated in the province of Manabí. *Afinidad. Journal of Chemical Engineering Theoretical and Applied Chemistry*, 79(596):596. <https://doi.org/10.55815/400722>
- Maulina, S., & Anwari, F. N. 2018. Utilization of oil palm fronds in producing activated carbon using Na₂CO₃ as an activator. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 309(1):012087. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/309/1/012087>
- MIPRO (Ministro de Producción, Comercio Exterior, Inversiones y Pesca). 2022. Boletín de cifras del Sector Productivo. Recuperado el 16 de septiembre de 2023 de <https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2022/11/Boletin-Cifras-Productivas-NOV2022.pdf>
- Monteiro, MR, Kugelmeier, CL, Pinheiro, RS, Batalha, MO y da Silva César, A. 2018. Glicerol procedente de la producción de biodiesel: Caminos tecnológicos para la sostenibilidad. *Reseñas de energías renovables y sostenibles*, 88:109-122. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032118300467>
- Nurika, I., Aristya, Y. I., Azizah, N., Sunyoto, N. M. S., Suhartini, S., Bugg, T. D. H., & Barker, G. C. 2023. Enhancement of the ligninolytic activity of *Lysinibacillus sphaericus* by the addition of MnSO₄ and its impact on subsequent methane production from Oil Palm Empty Fruit Bunches (OPEFB). *Bioresource Technology Reports*, 22:101394. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2023.101394>
- Ogundipe, K. E., Ogunbayo, B. F., Olofinnade, O. M., Amusan, L. M., & Aigbavboa, C. O. 2021. Affordable housing issue: Experimental investigation on properties of eco-friendly lightweight concrete produced from incorporating periwinkle and palm kernel shells. *Results in Engineering*, 9:100193. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100193>
- Pato, U., Fortuna Ayu, D., Riftyan, E., Restuhadi, F., Tunggul Pawenang, W., Firdaus, R., Rahma, A., Suryanti Suro, I. & Jaswir, I. 2021. Physicochemical property of oil palm leaves and utilization of cellulose microfiber as probiotic encapsulant. *Biodiversitas Journal of Biological Diversity*, 22 (7):2937-2944. <https://doi.org/10.13057/biodiv/d220746>
- Ponce, J., Andrade, J. G. da S., dos Santos, L. N., Bulla, M. K., Barros, B. C. B., Favaro, S. L., Hioka, N., Caetano, W., & Batistela, V. R. 2021. Alkali pretreated sugarcane bagasse, rice husk and corn husk wastes as lignocellulosic biosorbents for dyes. *Carbohydrate Polymer Technologies and Applications*, 2:100061. <https://doi.org/10.1016/j.carpta.2021.100061>
- Pranolo, S. H., Waluyo, J., Paryanto, Susanti, A. D., Permana, R. B., Erwanda, I., Delayaski, N., Alhaq, A. 'Izzuddin, & Putro, F. A. 2022. Feasible tar cleaning method of producer gas from palm kernel shell and mahogany fruit shell gasification. *Materials Today: Proceedings*, 63:S237-S243. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.431>
- PROECUADOR. 2023. Exportaciones de banano crecieron en el primer trimestre del 2023 – PRO ECUADOR. Recuperado el 15 de septiembre de 2023 de <https://www.proecuador.gob.ec/exportaciones-de-banano-crecieron-en-el-primer-trimestre-del-2023/>

- Reinehr, T. O., Ohara, M. A., de Oliveira Santos, M. P., Barros, J. L. M., Bittencourt, P. R. S., Baraldi, I. J., da Silva, E. A. & Zanatta, E. R. 2020. Study of pyrolysis kinetic of green corn husk. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, 143 (4):3181-3192. <https://doi.org/10.1007/s10973-020-10345-2>
- Riera, M. A., y Palma, R. R. 2022. Analytical methodology integrated with GIS for the estimation of agricultural waste in the biorefining processes. *Transportation Research Procedia*, 67: 147-152.
- Rodríguez, E. D. 2023. Modelo de gestión ambiental de residuos sólidos urbanos. *Revista de Investigaciones*, 12(1):1. <https://doi.org/10.26788/ri.v12i1.3984>
- Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C., López-Rodríguez, D. F., Rojas-González, A. F., Flórez-Montes, C., & López-Rodríguez, D. F. 2019. Prospectivas de aprovechamiento de algunos residuos agroindustriales. *Revista Cubana de Química*, 31(1): 31-52.
- Saha, B. C., Iten, L. B., Cotta, M. A. & Wu, Y. V. 2005. Dilute Acid Pretreatment, Enzymatic Saccharification, and Fermentation of Rice Hulls to Ethanol. *Biotechnology Progress*, 21 (3):816-822. <https://doi.org/10.1021/bp049564n>
- Sagastume Gutiérrez, A., Cabello Eras, J. J., Hens, L. & Vandecasteele, C. 2017. The Biomass Based Electricity Generation Potential of the Province of Cienfuegos, Cuba. *Waste and Biomass Valorization*, 8 (6):2075-2085. <https://doi.org/10.1007/s12649-016-9687-x>
- Salazar-Acuña, E. 2020. Indicador económico para la evaluación de la gestión municipal de los residuos valorizables en Costa Rica. *Revista de Ciencias Ambientales*, 54(1):1-15. <https://doi.org/10.15359/rca.54-1.1>
- Sazuan, N. S. A., Zubairi, S. I., Mohd, N. H., & Daik, R. 2023. Synthesising injectable molecular self-curing polymer from monomer derived from lignocellulosic oil palm empty fruit bunch biomass: A review on treating Osteoarthritis. *Arabian Journal of Chemistry*, 16(2):104500. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2022.104500>
- Taco-Lambert, L. E., & Pizarro-Romero, K. H. 2023. Análisis comparativo de las exportaciones de camarón, cacao y banano del Ecuador de los años 2018 – 2022 y su incidencia en la balanza comercial. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas*, 6(2): 2.
- Tagbor, T. A., Mohammed, L., Mohammed, M., Bruce-Mensah, M. M., Tekpetey, S., Armoo, E. A., Adomah, R., Arthur, T. D., Agyenim, F. B., Amoah, J. Y., Laryea, G. N., & Serkan Kirghiz, M. 2022. The utilization of palm kernel shells and waste plastics in asphaltic mix for sustainable pavement construction. *Scientific African*, 16:e01277. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01277>
- Tryner, J., Willson, B. D., & Marchese, A. J. 2014. The effects of fuel type and stove design on emissions and efficiency of natural-draft semi-gasifier biomass cookstoves. *Energy for Sustainable Development*, 23:99-109. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2014.07.009>
- Valverde, J. C., Arias, D., Campos, R., Jiménez, M. F. & Brenes, L. 2021. Forest and agro-industrial residues and bioeconomy: perception of use in the energy market in Costa Rica. *Energy, Ecology and Environment*, 6 (3):232 -243. <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00172-4> Valverde G., A., Sarria L., B. & Mont
- Vam Dam, J. 2017. Subproductos de la palma de aceite como materias primas de biomasa. *Palmas*, 37:149-156. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/view/11930>
- Wahab, R., Rasat, M. S. M., Fauzi, N. M., Sulaiman, M. S., Samsi, H. W., Mokhtar, N., Ghani, R. S. M., Razak, M. H., Wahab, R., Rasat, M. S. M., Fauzi, N. M., Sulaiman, M. S., Samsi, H. W., Mokhtar, N., Ghani, R. S. M., & Razak, M. H. 2021. Processing and Properties of Oil Palm Fronds Composite Boards from *Elaeis guineensis*. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.98222>
- Zavala, C. H., Pretell, V., Verastegui, J. & Ramirez, A. 2021. Estimación del potencial energético del gas pobre a partir de la gasificación de cáscara de cacao y racimos de frutos vacíos de palma aceitera. *Información Tecnológica*, 32 (2):143-150. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642021000200143>
- Zuluaga, R., Osorio, M., Castro, C., Betancourt, S., Kerguelen, H., Salazar, S., Santana, R., y Marín, D. 2019. Compendio de las alternativas para el desarrollo de materiales que brindan las estructuras celulósicas aisladas de residuos de la agroindustria de. *CYTED - Ciencia y Tecnología para el Desarrollo*, 119–130. https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/122024/CONICET_Digital_Nro.734b37f4-424f-4639-a2ef-5b4dc1e-d2403_B.pdf?sequence=5&isAllowed=y