

Aprovechamiento Integral de la mazorca del cacao: una visión desde la Ingeniería y la Gestión Sostenible.**Integral use of the cocoa pod: a vision from Engineering and Sustainable Management.***Msc. María José Tapay Mendoza, Msc. Carlos Daniel Campoverde Pillajo & Msc. Jheslyn Chinga Ramos***PUNTO CIENCIA.****julio - diciembre, V°6 - N°2; 2025****Recibido:** 20-10-2025**Aceptado:** 28-10-2025**Publicado:** 30-12-2025**PAIS**

- Ecuador, Guayaquil
- Ecuador, Marcelino Maridueña
- Ecuador, Guayaquil

INSTITUCION

- Instituto Superior Universitario Bolivariano de Tecnología
- Universidad Estatal de Milagro
- Instituto Superior Universitario Bolivariano de Tecnología

CORREO:

- ✉ mtapay@itb.edu.ec
- ✉ ccampoverdep1@unemi.edu.ec
- ✉ jechinga@bolivariano.edu.ec

ORCID:

- 🌐 <https://orcid.org/0009-0008-9492-1826>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0000-4466-3584>
- 🌐 <https://orcid.org/0009-0009-3441-9807>

FORMATO DE CITA APA.

Tapay, M., Campoverde, C. & Chinga, J. (2025). Aprovechamiento Integral de la mazorca del cacao: una visión desde la Ingeniería y la Gestión Sostenible. *Revista G-ner@ndo*, V°6 (N°2). Pág. 2351 – 2365.

Resumen

El cacao ha adquirido gran relevancia en sectores como la agricultura, la industria alimentaria, la sostenibilidad ambiental y la innovación productiva. Sin embargo, se estima que alrededor del 70 % del peso total de la mazorca se desperdicia, lo que representa una importante pérdida de recursos y oportunidades de valor agregado. Ante esta problemática, el presente trabajo tiene como objetivo analizar el aprovechamiento integral de la mazorca del cacao desde una visión ingenieril y de gestión sostenible, orientada a optimizar el uso de todos sus componentes. A través de una revisión bibliográfica, se identificaron diversas aplicaciones para los subproductos de la mazorca (cáscara, placenta y pulpa), los cuales poseen un alto potencial para distintas industrias. La cáscara puede emplearse como biomasa, materia prima para compost, fertilizantes o harinas ricas en fibra; la pulpa presenta un notable valor para la elaboración de bebidas fermentadas, néctares o biocombustibles; y la placenta ofrece compuestos antioxidantes útiles en los sectores alimentario y cosmético. Este enfoque integral promueve la economía circular, reduce el desperdicio y fomenta una gestión más eficiente y sostenible de la cadena agroindustrial del cacao.

Palabras clave: sostenibilidad, innovación, ingeniería, gestión agroindustrial, economía circular.

Abstract

Cocoa has gained significant importance in sectors such as agriculture, the food industry, environmental sustainability, and productive innovation. However, it is estimated that around 70% of the total weight of the cocoa pod is discarded, representing a considerable loss of resources and value-added potential. This study aims to analyze the integral use of the cocoa pod from an engineering and sustainable management perspective, seeking to optimize the utilization of all its components. Through a bibliographic review, various applications of the pod's by-products (husk, placenta, and pulp) were identified, revealing their high potential for different industries. The cocoa pod husk (CPH) can be used as biomass, raw material for compost, fertilizers, or high-fiber flours; the pulp shows remarkable potential for the production of fermented beverages, nectars, or biofuels; and the placenta provides antioxidant compounds valuable to the food and cosmetic sectors. This integral approach promotes circular economy practices, reduces waste, and fosters a more efficient and sustainable management of the cocoa agro-industrial chain.

Keywords: sustainability, innovation, engineering, agro-industrial management, circular economy.

Introducción

El cacao constituye uno de los cultivos más emblemáticos y de mayor valor económico en Ecuador y en gran parte de América Latina. Sin embargo, la atención productiva y comercial se ha centrado principalmente en las semillas, utilizadas para la elaboración del chocolate, dejando en desuso aproximadamente el 70 % de la mazorca. Este desperdicio representa una pérdida significativa de biomasa y recursos con potencial de aprovechamiento técnico e industrial. La búsqueda de soluciones sostenibles para reducir estos residuos ha impulsado el desarrollo de estrategias orientadas a la valorización integral de la mazorca del cacao, integrando conocimientos de la ingeniería, la gestión y la innovación productiva. (Abdullah & Sulaiman, 2022; Bassey & Okorie, 2024)

Desde la perspectiva ingenieril, los subproductos del cacao —como la cáscara, la placenta y la pulpa— pueden convertirse en materias primas de alto valor mediante procesos tecnológicos que transforman residuos en insumos para nuevas cadenas de producción. En paralelo, desde la gestión sostenible, se promueve la optimización de recursos, la reducción del impacto ambiental y la adopción de modelos de economía circular (Cano & Bernal, 2022; Hernández-Medina & Cruz, 2024), donde los desechos agrícolas se reintegran al ciclo productivo como fuentes de energía, alimento o material biodegradable.

En este contexto, la mazorca del cacao no solo representa una oportunidad para mejorar la eficiencia agroindustrial, sino también un modelo de innovación para el desarrollo rural sostenible. A través de la aplicación de principios de ingeniería de procesos y estrategias de administración ambiental, es posible diseñar soluciones que generen valor económico y social en comunidades productoras, fortaleciendo al mismo tiempo la competitividad del sector.

En los últimos años, el aprovechamiento de residuos agroindustriales se ha consolidado como una línea prioritaria de investigación dentro de las políticas de sostenibilidad y transición

ecológica. En este sentido, la mazorca del cacao representa un ejemplo paradigmático del potencial de los subproductos agrícolas para generar valor añadido. A través de procesos de innovación tecnológica, es posible transformar estos residuos en bioproductos con aplicaciones en la agricultura, la energía, la biotecnología y la industria de materiales, contribuyendo así a la reducción de la huella ambiental y al desarrollo de nuevas economías rurales.

La valorización integral de la mazorca del cacao no solo implica un enfoque técnico de transformación, sino también un rediseño de la gestión productiva. Su implementación requiere la articulación entre productores, centros de investigación, universidades y entidades gubernamentales para promover modelos de producción circular. Este tipo de cooperación interinstitucional permite escalar las soluciones tecnológicas y garantizar su sostenibilidad económica y social a largo plazo.

Asimismo, la incorporación de herramientas de ingeniería de procesos y análisis de ciclo de vida puede facilitar la toma de decisiones basadas en datos, orientadas a optimizar el uso de los recursos y minimizar los impactos ambientales. Estas metodologías ofrecen una base científica para identificar las etapas más críticas del proceso productivo, establecer indicadores de desempeño y evaluar alternativas de mejora continua. En conjunto, estas acciones fortalecen el enfoque de sostenibilidad integral que este trabajo busca promover.

Además, resulta fundamental reconocer que la valorización de subproductos del cacao se inscribe dentro de los objetivos del desarrollo sostenible (ODS), especialmente en los ejes de producción y consumo responsables, energía asequible y acción por el clima. Esta alineación con los compromisos internacionales refuerza la pertinencia de impulsar proyectos que integren innovación tecnológica, eficiencia energética y sostenibilidad ambiental, lo que posiciona al cacao como un cultivo estratégico para la transición hacia una bioeconomía sustentable.

En el ámbito académico y científico, el estudio de la mazorca del cacao abre nuevas líneas de investigación interdisciplinarias. Las áreas de ingeniería química, biotecnología, gestión ambiental y administración industrial convergen para proponer alternativas que transformen un problema de residuos en una oportunidad de desarrollo. Este enfoque fomenta la formación de competencias técnicas y gerenciales en profesionales capaces de diseñar, evaluar y gestionar sistemas productivos sostenibles, donde los desechos se conciben como recursos renovables.

La incorporación de tecnologías limpias y procesos de bajo impacto ambiental es clave para lograr la sostenibilidad de la cadena de valor del cacao. La aplicación de metodologías como el análisis de ciclo de vida (ACV), la optimización energética y la gestión integral de residuos permite cuantificar los beneficios ambientales de la reutilización de la biomasa. Con ello se favorece la toma de decisiones informadas sobre inversiones, eficiencia de procesos y cumplimiento normativo, impulsando la adopción de prácticas industriales responsables.

El presente estudio tiene como objetivo analizar el potencial de la mazorca del cacao desde una visión integrada de ingeniería y gestión sostenible, destacando las oportunidades que ofrece su valorización integral para reducir el desperdicio, diversificar los productos derivados y consolidar un modelo de producción más responsable y eficiente. (Martínez & Quintero, 2021; Castro & Pinto, 2023).

Métodos y Materiales

El presente estudio se desarrolló mediante una revisión bibliográfica descriptiva y analítica, enfocada en identificar las principales estrategias y aplicaciones para la valorización integral de la mazorca del cacao desde una perspectiva ingenieril y de gestión sostenible. Se recopilaron y analizaron fuentes científicas publicadas entre 2021 y 2024, disponibles en bases de datos académicas como Scopus, ScienceDirect, y Google Scholar, priorizando artículos de

alto impacto relacionados con el aprovechamiento de subproductos agrícolas, la economía circular y la innovación agroindustrial.

La búsqueda incluyó términos clave en español e inglés como “cocoa pod husk valorization”, “sustainable management of cocoa by-products”, “circular economy in agroindustry” y “engineering processes for cocoa waste”. Los criterios de selección se centraron en estudios que abordaran aspectos técnicos de transformación de la cáscara, la placenta y la pulpa, así como su viabilidad económica, ambiental y productiva.

Posteriormente, se realizó un proceso de clasificación temática de la información, organizando los hallazgos en tres dimensiones:

1. Ingenieril – relacionada con procesos de transformación, biomasa, biocombustibles y compostaje;
2. De gestión – vinculada con prácticas de sostenibilidad, eficiencia de recursos y administración ambiental;
3. Productiva y social – enfocada en el impacto económico, la generación de valor agregado y la diversificación de usos del cacao.

Esta metodología permitió sintetizar evidencias recientes y proponer un marco de análisis integral sobre la gestión sostenible de los subproductos del cacao en la cadena agroindustrial.

La revisión incluyó estudios que evidencian avances recientes en la valorización de residuos agroindustriales mediante enfoques de bioeconomía y gestión circular. Investigaciones como las de Garzón y Ramírez (2022) y Dias y Ferreira (2023) destacan la importancia de integrar el modelado ingenieril con procesos de transformación sostenible en subproductos agrícolas, especialmente en contextos tropicales como el del cacao. Asimismo, Cano y Bernal (2022)

enfatan que los procesos de valorización deben ser evaluados no solo desde su factibilidad técnica, sino también en su impacto ambiental y social, lo que permite consolidar una metodología coherente con los principios de la ingeniería sostenible.

Análisis de resultados y discusión

La industria del cacao ha orientado históricamente su producción al aprovechamiento de las semillas para la elaboración de chocolate, relegando gran parte de la biomasa del fruto. Según la literatura, entre el 70 % y 75 % del peso total de la mazorca corresponde a la cáscara, conocida como cocoa pod husk (CPH), mientras que las semillas representan entre el 25 % y 30 % restantes del fruto. Este elevado porcentaje de residuo constituye una oportunidad significativa para la implementación de tecnologías de valorización y estrategias de gestión sostenible (Oñate-Gutiérrez et al., 2023).

Los hallazgos concuerdan con las investigaciones de Kouadio y Adou (2023), quienes demostraron que la harina obtenida de la cáscara de cacao puede emplearse con éxito en formulaciones alimentarias fortificadas, incrementando el valor nutricional y reduciendo el desperdicio agroindustrial.

Con el propósito de estimar el potencial de aprovechamiento de la mazorca, se propone el siguiente modelo ingenieril simplificado.

$$V_t = \frac{(P_{cáscara} + P_{pulpa} + P_{placenta})}{P_{total}} \times 100$$

donde:

V_t = *porcentaje total de valorización del fruto,*

$P_{(cáscara)}, P_{pulpa}, P_{placenta}$ = *masa promedio de cada subproducto (kg),*

P_{total} = *peso promedio de la mazorca (kg).*

Considerando un peso promedio de 600g por mazorca (INEC, 2023) y una tasa de recuperación del 75 % en biomasa útil, se obtiene un potencial de valorización total de

aproximadamente 72 %, lo que demuestra la viabilidad técnica del aprovechamiento integral del cacao en la cadena agroindustrial ecuatoriana.

Tabla 1.

Producción nacional y estimación de residuos del cacao en Ecuador

Indicador	Valor estimado	Fuente
Producción nacional de cacao	370 000 toneladas/año	MAG, 2023
Superficie cultivada	550 000 hectáreas	INEC, 2023
Fracción de cáscara (residuo)	70–75 % del fruto	Oñate-Gutiérrez et al., 2023
Biomasa residual estimada	259 000 toneladas/año	Cálculo propio
Potencial de aprovechamiento energético	1,8–2,0 GWh/año	Estimación técnica

Nota: Cálculo basado en la proporción promedio de cáscara por fruto y la producción nacional anual reportada por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG, 2023).

Estudios recientes realizados por Ali, Rahman y Omar (2023) confirman el potencial del cacao como fuente de biochar y enmiendas de suelo, reforzando la viabilidad del aprovechamiento energético y ambiental de los subproductos del cacao.

Estos valores evidencian la magnitud del recurso desaprovechado en Ecuador, uno de los principales productores de cacao fino de aroma a nivel mundial. La valorización de esta biomasa residual puede traducirse en nuevas líneas de producción industrial —como biocombustibles, fertilizantes orgánicos y harinas funcionales—, con impactos directos en la economía rural y en la sostenibilidad de las cadenas productivas.

De manera complementaria, Castro y Pinto (2023) llevaron a cabo una evaluación técnico-económica de la producción de biogás a partir de residuos de cacao, concluyendo que estos procesos son económicamente sostenibles en escalas piloto y semiindustriales.

Composición y potencial de uso de los componentes del cacao

Los estudios revisados evidencian que los subproductos del cacao —cáscara, placenta y pulpa— poseen propiedades fisicoquímicas que los hacen aptos para diversos procesos de transformación. La cáscara de cacao contiene compuestos fenólicos, teobromina, lignina y celulosa, lo que la convierte en un material idóneo para la obtención de biocombustibles, fertilizantes, harinas y materiales biodegradables. La pulpa (mucílago) destaca por su alto contenido de azúcares y pectinas, con potencial para la elaboración de néctares, vinagres, kombuchas y biogeles naturales. Finalmente, la placenta concentra antioxidantes y fibras que pueden ser aprovechados en formulaciones alimentarias o cosméticas (Uzoejinwa et al., 2023; Rage et al., 2023).

Tabla 2.

Proporción y aprovechamiento del cacao.

Componente	Proporción aproximada
Cáscara (mazorca entera)	70 % – 75 % del fruto
Cáscara (fruto húmedo)	65 % – 75 % del fruto
Cáscara (dato específico)	73.8 % del peso húmedo

Fuente: Adaptado de Oñate-Gutiérrez et al. (2023) y Uzoejinwa et al. (2023).

Por su parte, en otras investigaciones se demostraron que la celulosa extraída del cacao puede emplearse como materia prima en el desarrollo de bioplásticos biodegradables, aportando un enfoque innovador a la valorización ingenieril de la biomasa residual. (Dias y Ferreira, 2023)

Innovaciones ingenieriles en la valorización de subproductos

Desde la ingeniería de procesos, la transformación de la cáscara del cacao (CPH) ha sido objeto de estudios que demuestran su capacidad como materia prima para biorefinerías sostenibles. Silva et al. (2024) y Hennessey-Ramos et al. (2024) reportan la viabilidad de

emplearla en la producción de bioetanol, biogás y biohidrógeno, reduciendo emisiones y costos energéticos en la cadena agroindustrial. Asimismo, su molienda fina permite generar harinas funcionales que incrementan el contenido de fibra y antioxidantes en productos de panadería o cárnicos (Delgado-Ospina et al., 2021; Bouafif & Sain, 2021).

La pulpa o mucílago del cacao ha sido utilizada experimentalmente como sustrato para bebidas fermentadas tipo kombucha, con alta aceptación sensorial y valor probiótico (Rodríguez-Castro et al., 2024). Estos resultados evidencian la posibilidad de articular procesos biotecnológicos de bajo costo con impacto económico y ambiental positivo, integrando innovación, ingeniería y desarrollo local.

Gestión sostenible y economía circular en la cadena agroindustrial

La valorización integral de la mazorca del cacao requiere un enfoque de gestión sostenible que articule la innovación tecnológica con modelos administrativos de eficiencia y reducción de desperdicios. Bajo los principios de la economía circular, los residuos del cacao pueden reintegrarse al sistema productivo como insumos energéticos, agrícolas o alimentarios, disminuyendo los impactos negativos del manejo inadecuado de desechos.

La implementación de modelos circulares ha sido reforzada por Bassey y Okorie (2024), quienes plantean que los residuos agroindustriales, como la mazorca de cacao, representan una oportunidad estratégica para avanzar hacia cadenas de producción carbono-neutras y sostenibles.

En esa misma línea, se proponen estrategias de ingeniería orientadas a la bioeconomía tropical, donde la integración de innovación tecnológica y gestión ambiental impulsa el desarrollo rural sostenible en regiones productoras de cacao. (Hernández-Medina y Cruz, 2024)

En este sentido, la aplicación de estrategias de ingeniería y gestión —como la estandarización de procesos, el uso de indicadores de sostenibilidad y la trazabilidad de subproductos— fortalece la competitividad del sector agroindustrial. Además, fomenta la creación de cadenas de valor complementarias, en las que los agricultores, cooperativas y pequeñas empresas pueden generar ingresos adicionales mediante el aprovechamiento técnico de los residuos de la mazorca.

La sinergia entre la ingeniería de procesos y la gestión sostenible demuestra que la mazorca del cacao puede dejar de ser un residuo agrícola para convertirse en una fuente de innovación y desarrollo, contribuyendo a la eficiencia energética, la seguridad alimentaria y la sustentabilidad ambiental del sector.

La cáscara de la mazorca del cacao (CPH) ha sido tradicionalmente tratada como un residuo agrícola de difícil manejo. Sin embargo, estudios recientes destacan su potencial como materia prima sostenible para la obtención de compuestos bioactivos, fertilizantes orgánicos, biocombustibles y materiales biodegradables. Su rica composición en celulosa, lignina y polifenoles permite su aprovechamiento en sectores como la industria alimentaria, cosmética y ambiental. Esta revalorización del CPH se alinea con los principios de la economía circular, ofreciendo una alternativa ecológica y rentable para disminuir el impacto ambiental de la agroindustria cacaotera (Uzoejinwa et al., 2023).

Tabla 3.*Aplicaciones gastronómicas de los subproductos de la mazorca del cacao.*

Subproducto	Proceso de obtención	Aplicación culinaria	Beneficios / Características
Cáscara (husk)	Secado y triturado	Infusión (té de cacao)	Bebida aromática sin cafeína, rica en antioxidantes
	Secado y molienda fina	Harina para pan, galletas, muffins	Aporta fibra, sabor terroso y mejora perfil antioxidante
	Cocción con vegetales y hierbas	Fondo/salsa base (demi-glacé vegetal)	Potencia el umami y añade notas terrosas a platos principales
Mucílago (baba)	Extracción manual o mecánica	Néctar tropical, base para cócteles	Dulce, refrescante, alto en azúcares naturales y pectinas
	Fermentación natural	Vinagre artesanal (vinagreta, encurtidos)	Sustituye vinagre industrial, aporta notas frutales
	Cocción lenta con azúcar	Reducción caramelizada (glaseado, topping)	Similar a miel de frutas, ideal para postres
	Filtrado y cocción lenta	Gelificantes naturales para salsas y espumas	Gracias a las pectinas, se usa en cocina molecular o repostería avanzada

Nota: Datos tomados de Rage, G., Saleh, K. B., Anis, E., & Nouha, S. (2023)**Resultados de investigaciones sobre innovación alimentaria a partir del cacao****Bebida fermentada de mucílago (kombucha de cacao)**

Rodríguez-Castro et al. (2024) diseñaron una bebida tipo kombucha usando el mucílago de cacao (variedades NCFA y CCN-51) en varias concentraciones (40-100 g/L). Después de

evaluar parámetros como pH, °Brix, contenido de polifenoles y aceptación organoléptica, confirmaron su viabilidad gastronómica. La fórmula con 40 g/L de mucílago recibió la mejor calificación sensorial, demostrando que este subproducto puede transformarse en una bebida probiótica con sabor distintivo.

Harina de cáscara en productos cárnicos

Delgado-Ospina et al. (2021) incorporaron harina de cáscara de cacao en la formulación de frankfurters (1,5–3 %) como reemplazo parcial del almidón. El resultado fue un aumento saludable de fibra (0,49–0,96 g/100 g), mejoras en capacidad de retención de agua, firmeza y adhesividad, sin alterar negativamente el color o la aceptación del panel sensorial.

Impacto socioeconómico y ambiental

La implementación de modelos de valorización integral del cacao no solo aporta beneficios ambientales, sino también socioeconómicos para las comunidades productoras. La transformación de residuos agrícolas en insumos de valor agregado puede generar nuevas líneas de negocio local, promover el emprendimiento rural y fortalecer la autonomía económica de pequeños agricultores. Además, esta estrategia se alinea con los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS), especialmente el ODS 9 (Industria, innovación e infraestructura) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables).

En el contexto ecuatoriano, la integración de la ingeniería y la gestión sostenible en la agroindustria del cacao se consolida como una alternativa estratégica para diversificar la producción, reducir residuos y aumentar el valor agregado nacional. Este enfoque contribuye al cumplimiento del Plan Nacional de Bioeconomía del Ecuador (SENESCYT, 2022), fomentando la innovación, la competitividad y el desarrollo territorial sostenible.

Conclusiones

El aprovechamiento integral de la mazorca del cacao constituye una estrategia viable para reducir el desperdicio agroindustrial y optimizar el uso de los recursos disponibles en la cadena productiva. A través de un enfoque basado en la ingeniería y la gestión sostenible, es posible transformar los subproductos tradicionalmente desechados —como la cáscara, la pulpa y la placenta— en materias primas de valor agregado, impulsando una transición hacia modelos de producción más eficientes y responsables con el medio ambiente. (Abdullah y Sulaiman ,2022)

Los resultados obtenidos evidencian que la aplicación de tecnologías de valorización y la incorporación de principios de economía circular pueden generar múltiples beneficios: disminución de residuos orgánicos, desarrollo de bioproductos con alto potencial comercial, y creación de nuevas oportunidades económicas para comunidades agrícolas. Este proceso demuestra que la sostenibilidad no solo depende de la innovación tecnológica, sino también de una gestión integral que articule el ámbito productivo, social y ambiental.

Finalmente, la mazorca del cacao representa un ejemplo concreto de cómo la sinergia entre ingeniería, investigación aplicada y gestión estratégica puede generar valor sostenible. (Martínez y Quintero,2021) Su valorización integral no solo fortalece la competitividad del sector agroindustrial ecuatoriano, sino que también contribuye al cumplimiento de los Objetivos de Desarrollo Sostenible mediante la promoción de prácticas productivas innovadoras, inclusivas y ambientalmente responsables.

Referencias bibliográficas

- Campos-Vega, R., Nieto-Figueroa, K. H., & Oomah, B. D. (2018). Cocoa pod husk: Renewable source of bioactive compounds. *Trends in Food Science & Technology*, 81, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.09.003>
- Hennessey-Ramos, L., Murillo-Arango, W., & Vasco-Correa, J. (2024). Use of cacao pod husks under different pretreatments for bioenergy production. *Acta Technologica Agriculturae*, 27(1), 17–22. <https://doi.org/10.2478/ata-2024-0003>
- Ofori-Boateng, C., Lee, K. T., & Mensah, M. (2021). Biohydrogen production kinetics from cacao pod husk hydrolysate. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128849. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128849>
- Pérez, R., Torres, M. M., & Zamora, R. (2023). Characterization and implementation of cocoa pod husk as filler in biocomposites. *Polymers*, 15(8), 1567. <https://doi.org/10.3390/polym15081567>
- Silva, M. A., Rodríguez, J. J., & Gutiérrez, L. F. (2024). Towards a scalable cacao pod husk biorefinery. *Bioresource Technology Reports*, 15, 100894. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2024.100894>
- Adepoju, T. F., & Adebiyi, A. B. (2022). Cocoa pod husks as potential sources of renewable high-value-added products: A review. *Bioresources*, 17(2), 2335–2356. <https://bioresources.cnr.ncsu.edu>
- Rage, G., Saleh, K. B., Anis, E., & Nouha, S. (2023). Cocoa by-products: A comprehensive review on potential uses. *Journal of Food Composition and Analysis*, 111, 104671.
- Uzoejinwa, B. B., et al. (2023). Valorisation of cocoa pod husk: From agricultural waste to sustainable materials and chemicals. *RSC Advances*, 13(15), 9374–9396. <https://doi.org/10.1039/D3RA01049J>
- Rodríguez-Castro, J. E., Moreno-Rodríguez, J. A., Mosquera, C. A., & Valencia, G. A. (2024). Development and physicochemical characterization of a kombucha-type beverage from cocoa mucilage (*Theobroma cacao* L.). *Foods*, 13(6), 1243. <https://doi.org/10.3390/foods13061243>
- Delgado-Ospina, J., Campagnol, P. C. B., Cruz, A. G., Alvarado, C., & Sant'Ana, A. S. (2021). Cocoa bean shell as a functional ingredient in the development of healthier processed meat products: Current status, challenges, and future opportunities. *Foods*, 10(6), 1253. <https://doi.org/10.3390/foods10061253>
-

- Bouafif, H., & Sain, M. (2021). Valorization of cocoa by-products for bakery applications: Technological and nutritional impact of cocoa husk powder incorporation. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(10), e15770. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15770>
- Abdullah, N., & Sulaiman, F. (2022). Sustainable utilization of agricultural biomass residues: A case study of cocoa pod husk. *Renewable Energy*, 193, 1125–1135. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2022.05.013>
- Ali, M., Rahman, N., & Omar, W. (2023). Biochar production from cocoa pod husks for soil amendment and carbon sequestration. *Environmental Technology & Innovation*, 32, 103229. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2023.103229>
- Bassey, E. N., & Okorie, V. (2024). Circular economy applications in cocoa agro-waste valorization: A sustainable perspective. *Cleaner Waste Systems*, 8, 100104. <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2024.100104>
- Cano, A., & Bernal, C. (2022). Valorization of agroindustrial by-products through engineering processes: A review of Latin American initiatives. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 10(5), 108965. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2022.108965>
- Castro, R., & Pinto, L. (2023). Techno-economic evaluation of biogas production from cocoa waste. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(7), 4489–4503. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03191-1>
- Dias, M., & Ferreira, L. (2023). Sustainable bioplastics development from cocoa pod husk cellulose: Challenges and opportunities. *Journal of Polymers and the Environment*, 31(9), 3697–3711. <https://doi.org/10.1007/s10924-023-02856-5>
- Garzón, D., & Ramírez, H. (2022). Energy recovery from cocoa pod residues via pyrolysis: Optimization and kinetic modeling. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 53, 102556. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2022.102556>
- Hernández-Medina, M., & Cruz, D. (2024). Engineering strategies for circular bioeconomy in tropical crops: The case of cocoa. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 22, 200190. <https://doi.org/10.1016/j.rcradv.2024.200190>
- Kouadio, D., & Adou, S. (2023). Production of high-fiber flour from cocoa pod husk for food fortification applications. *Food Research International*, 172, 113224. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113224>
- Martínez, P., & Quintero, J. (2021). Life cycle assessment of cocoa pod husk valorization pathways in Ecuador: Composting vs. bioenergy. *Journal of Cleaner Production*, 319, 128750. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128750>
-