



B1

ISSN: 2595-1661

ARTIGO

Listas de conteúdos disponíveis em [Portal de Periódicos CAPES](#)

Revista JRG de Estudos Acadêmicos

Página da revista:

<https://revistajrg.com/index.php/jrg>

ISSN: 2595-1661

Revista JRG de
Estudos Acadêmicos

Caracterización fisicoquímica de residuos de cacao para su valorización agroindustrial en la amazonia ecuatoriana

Physicochemical characterization of cocoa and cassava residues for agroindustrial valorization in the Ecuadorian Amazon

DOI: 10.55892/jrg.v9i20.3190

ARK: 57118/JRG.v9i20.3190

Recebido: 16/04/2026 | Aceito: 20/04/2026 | Publicado on-line: 22/04/2026

Alvaro Luis Jose Reyes Cordova

<https://orcid.org/0009-0007-3640-775X>

<http://lattes.cnpq.br/6067550991761673>

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

E-mail: al.reyesc@uea.edu.ec

Evelyn Alejandra Vargas Peralvo

<https://orcid.org/0000-0002-7367-9347>

<http://lattes.cnpq.br/5238045507913497>

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

E-mail: ea.vargasp@uea.edu.ec

Joana Alexandra Moreno Lopez

<https://orcid.org/0009-0008-4427-670X>

<http://lattes.cnpq.br/5847513522497473>

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

E-mail: ja.morenol@uea.edu.ec

Sarahi Salome Alvarez Villamarin

<https://orcid.org/0009-0005-4352-9494>

<http://lattes.cnpq.br/2078013737042675>

Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Ecuador

E-mail: ss.alvarezv@uea.edu.ec



Resumen

El estudio aborda la problemática de la industria cacaotera en provincias como Napo y Pastaza, donde entre el 80% y el 90% del fruto (principalmente la cáscara o CPH) se descarta, generando focos de enfermedades fúngicas que pueden reducir el rendimiento de los cultivos hasta en un 30%. Mediante una revisión sistemática y metaanálisis de datos entre 2013 y 2025, los autores analizan las propiedades de clones predominantes como el CCN-51 y variedades locales. Los hallazgos clave incluyen: Composición y Biomasa: El clon CCN-51 genera la mayor cantidad de biomasa residual (aprox. 637 g por fruto) y posee un contenido excepcionalmente alto de azúcares totales (63.72%), lo que lo hace ideal para la producción de bioetanol. Potencial Estructural: La cáscara de cacao tiene niveles de holocelulosa (hasta 74%) superiores a algunas maderas comerciales, posicionándola como una fuente competitiva para la industria papelera y de bioplásticos. Compuestos Bioactivos: Se identificaron 51 compuestos, destacando polifenoles (epicatequina), alcaloides (teobromina) y ácidos grasos esenciales (ácido linoleico), con aplicaciones en las industrias farmacéutica, cosmética y alimentaria. Rutas de Valorización: Se proponen cuatro pilares estratégicos: producción de abonos orgánicos,



biorefinería (biogás y biocombustibles), alimentos funcionales (fibra dietética) y biorremediación de aguas contaminadas con metales pesados. En conclusión, la integración de estos subproductos en cadenas de valor de alta complejidad técnica es vital para la sostenibilidad económica y ambiental de la región amazónica.

Palabras clave: Caracterización fisicoquímica, Residuos de cacao, Amazonía ecuatoriana, Valorización agroindustrial, Theobroma cacao, Bioeconomía circular.

Abstract

The study addresses the challenges facing the cocoa industry in provinces such as Napo and Pastaza, where between 80% and 90% of the fruit (primarily the husk or CPH) is discarded, creating hotspots for fungal diseases that can reduce crop yields by up to 30%. Through a systematic review and meta-analysis of data from 2013 to 2025, the authors analyze the properties of predominant clones such as CCN-51 and local varieties. Key findings include: Composition and Biomass: The CCN-51 clone generates the highest amount of residual biomass (approx. 637 g per fruit) and has an exceptionally high total sugar content (63.72%), making it ideal for bioethanol production. Structural Potential: Cocoa shells have holocellulose levels (up to 74%) higher than some commercial woods, positioning them as a competitive source for the paper and bioplastics industries. Bioactive Compounds: Fifty-one compounds were identified, notably polyphenols (epicatechin), alkaloids (theobromine), and essential fatty acids (linoleic acid), with applications in the pharmaceutical, cosmetic, and food industries. Value-Added Pathways: Four strategic pillars are proposed: organic fertilizer production, biorefinery (biogas and biofuels), functional foods (dietary fiber), and bioremediation of water contaminated with heavy metals. In conclusion, the integration of these byproducts into highly technically complex value chains is vital for the economic and environmental sustainability of the Amazon region.

Keywords: Physicochemical characterization, Cocoa waste, Ecuadorian Amazon, Agroindustrial valorization, Theobroma cacao, Circular bioeconomy

1. Introducción

La región amazónica del Ecuador, un epicentro de biodiversidad global, se ha consolidado históricamente como una de las zonas más relevantes para el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*), particularmente en las provincias de Napo, Pastaza, Orellana y Sucumbíos. El Ecuador no solo es el centro de origen biológico de esta especie, sino que actualmente lidera el mercado mundial de cacao fino de aroma, aportando aproximadamente el 62% de la producción global en esta categoría. Sin embargo, esta pujanza económica contrasta con una realidad operativa crítica: el procesamiento primario del cacao genera volúmenes masivos de biomasa residual que, en gran medida, carecen de una gestión técnica adecuada (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Se estima que la industria del cacao utiliza principalmente las semillas, las cuales representan solo el 10% al 20% del peso total del fruto seco, lo que implica que entre el 80% y el 90% restante se descarta como residuo en las etapas de cosecha y preprocesamiento. Estos subproductos, compuestos mayoritariamente por la cáscara de la mazorca (CPH, *Cocoa Pod Husk*), la placenta y el mucílago, se convierten en un pasivo ambiental de alto impacto. En la Amazonía ecuatoriana, la acumulación descontrolada de estas cáscaras en los lotes de cultivo propicia la proliferación de patógenos fúngicos como la moniliasis (*Moniliophthora roreri*) y la escoba de bruja (*Moniliophthora perniciosa*), además de la pudrición negra causada por *Phytophthora spp.*, lo que puede reducir el



rendimiento anual de las plantaciones hasta en un 30% (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Desde la perspectiva de la bioeconomía circular, estos residuos dejan de ser "basura" para convertirse en recursos valiosos. La cáscara de cacao es una matriz lignocelulósica rica en polímeros estructurales como celulosa, hemicelulosa y lignina, además de poseer una carga significativa de minerales y compuestos bioactivos como polifenoles y metilxantinas. No obstante, la variabilidad fisicoquímica de estos residuos es alta y depende de factores como el genotipo del cacao (clones como CCN-51 frente a variedades nacionales), las condiciones edafoclimáticas específicas de la Amazonía (suelos Ultisoles y Oxisoles con alta acidez y presencia de aluminio) y el estado de madurez del fruto al momento de la apertura (Meza-Sepulveda et al., 2024; Suarez et al., 2024).

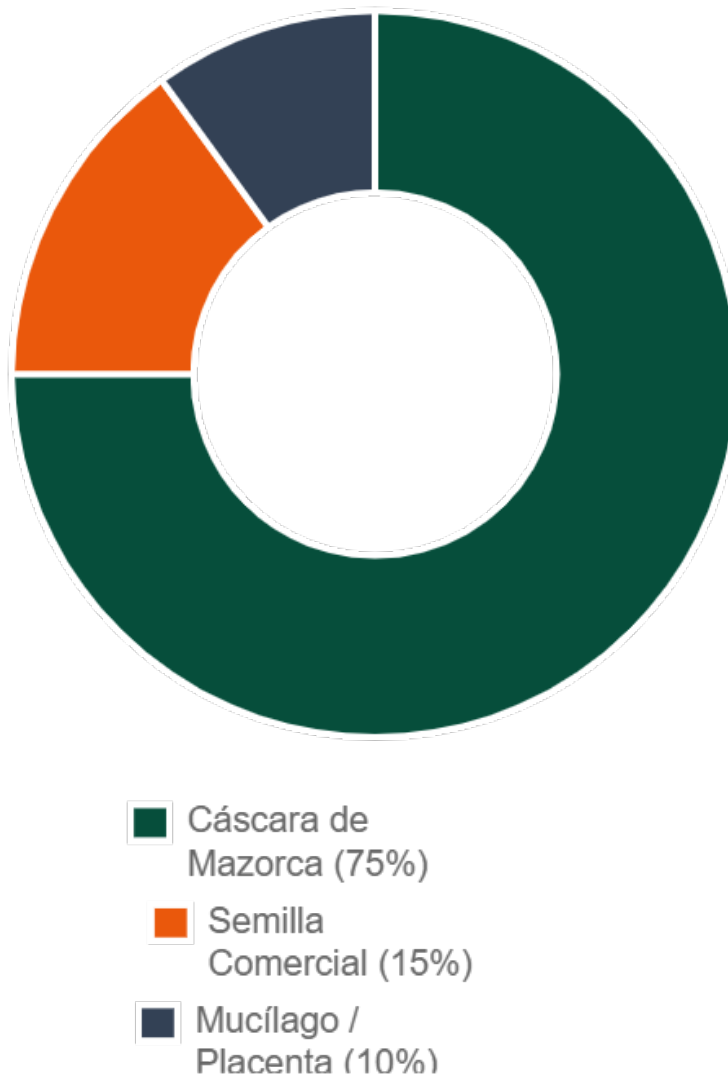


Figura 1: Proporción de Residuos vs. Producto Comercial

La valorización agroindustrial de la CPH en la región amazónica presenta rutas prometedoras que van desde la producción de biocombustibles de segunda generación hasta la formulación de alimentos funcionales, bioplásticos y sustratos para la horticultura. Sin embargo, para que estas aplicaciones sean técnicamente viables y escalables, es imperativo contar con una caracterización fisicoquímica exhaustiva que



permita estandarizar los procesos de transformación. El presente artículo de revisión sistemática y metaanálisis sintetiza la evidencia científica actual sobre las propiedades de los residuos de cacao en la Amazonía, evaluando su potencial de bioprospección y proponiendo estrategias para integrar estos subproductos en cadenas de valor de alta complejidad técnica y económica (García et al., 2020; Meza-Sepulveda et al., 2024).

2. Metodología

Para el desarrollo de la presente investigación, se empleó un enfoque de revisión sistemática y metaanálisis siguiendo los principios de transparencia y reproducibilidad. El periodo de estudio abarcó literatura científica publicada entre los años 2013 y 2025, con especial énfasis en investigaciones generadas en la última década (2015-2025) para garantizar la vigencia de los datos tecnológicos y estadísticos.

La búsqueda de información se realizó en bases de datos de alto impacto académico, incluyendo Scopus, Web of Science, ScienceDirect y redes regionales como SciELO y Redalyc. Asimismo, se consultaron repositorios institucionales de la Universidad Estatal Amazónica (UEA), el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) y la Universidad Tecnológica de Pereira (UTP), los cuales albergan estudios específicos sobre clones amazónicos y estrategias de valorización regional. Los descriptores de búsqueda incluyeron combinaciones de términos mediante operadores booleanos: "Caracterización fisicoquímica" AND "residuos de cacao" AND "Ecuador"; "Theobroma cacao" AND "valorización agroindustrial" AND "Amazonía"; "composición proximal" AND "cáscara de cacao".

Los criterios de inclusión priorizaron estudios que presentaran datos cuantitativos sobre: (a) composición proximal (humedad, cenizas, proteína, extracto etéreo, fibra cruda); (b) análisis lignocelulósico (celulosa, hemicelulosa, lignina); (c) perfil de compuestos bioactivos (polifenoles totales, flavonoides, metilxantinas); y (d) aplicaciones industriales evaluadas experimentalmente. Para el metaanálisis, se realizó una normalización de datos convirtiendo los valores a base seca (m.s.) para permitir comparaciones directas entre muestras recolectadas bajo diferentes condiciones de humedad ambiental en la Amazonía.



El análisis estadístico descriptivo se utilizó para establecer rangos y promedios de los parámetros fisicoquímicos, mientras que la discusión se estructuró cruzando las propiedades químicas con las rutas de valorización propuestas en la literatura. Se prestó especial atención a la comparación entre cultivares, específicamente el híbrido CCN-51 y variedades locales o clones registrados por instituciones como FEDECACAO (FEAR5 y FSV41), dada su relevancia en los agroecosistemas amazónicos de Ecuador y Colombia.

3. Resultados y Discusión

Caracterización física y morfología de la mazorca

La caracterización física de los residuos comienza con el análisis de la mazorca entera, ya que las dimensiones y pesos determinan la logística de recolección y el rendimiento potencial de biomasa por hectárea. En la Amazonía ecuatoriana, el clon CCN-51 es predominante debido a su alta productividad y resistencia, presentando mazorcas con pesos que oscilan significativamente, con promedios registrados de 863.06 ± 8.53 g por fruto. Esta biomasa residual es sustancialmente mayor que la generada por clones locales como FEAR5 (675.74 ± 81.78 g) o FSV41 (666.71 ± 32.94 g) (Meza-Sepulveda et al., 2024).



La cáscara de la mazorca (CPH) no es una estructura uniforme; se compone de tres capas histológicas: epicarpio (piel externa), mesocarpio (estructura dura y compuesta) y endocarpio (tejido suave que protege los granos). El espesor de estas capas varía según el clon, lo cual influye en la facilidad de molienda y en la concentración de lignocelulosa. Por ejemplo, el espesor central de la cáscara en el clon FEAR5 es de 13.96 ± 4.47 mm, mientras que en el CCN-51 es de 13.88 ± 3.09 mm. La morfología superficial observada mediante microscopía electrónica de barrido (SEM) revela una textura rugosa en la CPH, diseñada naturalmente para proteger las fibras internas contra la alta humedad y la radiación solar tropical (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Tabla 1: medidas físicas de los principales clones analizados en contextos amazónicos y tropicales

Parámetro	CCN-51	FEAR5	FSV41
Peso de la mazorca (g)	863.06 ± 8.53	675.74 ± 81.78	666.71 ± 32.94
Longitud del fruto (cm)	26.82 ± 2.91	26.46 ± 2.79	26.80 ± 3.01
Peso de la CPH residual (g)	637.62 ± 93.26	453.67 ± 35.7	431.12 ± 65.2
Número de granos por mazorca	49 ± 4.95	40 ± 3.37	46 ± 6.36

Fuente: Adaptado de 9. Meza-Sepulveda et al. (2024):

Desde un punto de vista logístico, la mayor cantidad de residuo generada por el CCN-51 (637.62 g por fruto frente a 431.12 g en FSV41) justifica la implementación de plantas de procesamiento centralizadas en áreas de alta densidad de este clon, mientras que en zonas de variedades nacionales, los esquemas de economía circular deben ser más flexibles o estar orientados a productos de nicho (Meza-Sepulveda et al., 2024).

Análisis bromatológico y composición proximal

La composición química proximal es el indicador básico para determinar el potencial nutricional y energético del residuo. La característica más crítica de la CPH fresca en la Amazonía es su elevada humedad, que típicamente supera el 80% (84.28 ± 2.9 en CCN-51 y 85.62 ± 1.4 en FSV41). Esta alta humedad representa un desafío para la conservación, ya que la biomasa es propensa a la degradación microbiana inmediata bajo las temperaturas de la selva.

En términos de materia seca (m.s.), el análisis proximal revela una biomasa rica en fibra cruda y minerales, pero con un contenido proteico que debe ser cuidadosamente suplementado si se destina a alimentación animal (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Tabla 2: Metaanálisis de los valores bromatológicos

Parámetro (% m.s.)	Rango detectado	Promedio CCN-51	Implicación agroindustrial
Cenizas (Ash)	6.42 - 18.83	8.17	Alto potencial para fertilizantes (K).
Proteína Cruda (CP)	4.30 - 10.74	7.90	Suplemento fibroso para rumiantes.
Extracto Etéreo (Lípidos)	0.42 - 2.27	1.08	Baja densidad energética lipídica.



Fibra Cruda (CF)	26.42 - 41.69	26.42	Sustrato para bioetanol y papel.
Azúcares Totales	12.10 - 63.72	63.72	Potencial de fermentación (bioenergía).

Fuente: Síntesis basada en UEA (2024); Caicedo et al. (2022) y Meza-Sepulveda et al. (2024)

Un hallazgo significativo es la disparidad en el contenido de azúcares totales. El clon CCN-51 muestra niveles extraordinariamente altos de carbohidratos solubles (63.72%) en comparación con clones como el FSV41 (12.10%). Esta diferencia sugiere que el CCN-51 es un candidato ideal para procesos de bioconversión aeróbica o anaeróbica, como la obtención de bioetanol o ácidos orgánicos, debido a la disponibilidad de sustrato para microorganismos fermentadores (Meza-Sepulveda et al., 2024).

El contenido de cenizas (entre 8% y 11% en promedio) es un indicador de la riqueza mineral del residuo. Investigaciones en la Amazonía han identificado que estas cenizas son una fuente primaria de potasio (K), con niveles que superan el 3.29% m.s. La presencia de macroelementos como el magnesio (0.17% - 0.57%) y el fósforo (0.21% - 0.56%) refuerza el uso tradicional de la cáscara como fertilizante orgánico, ayudando a neutralizar la acidez característica de los suelos amazónicos (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Perfil lignocelulósico y su aplicación estructural

La valorización de la cáscara de cacao como sustituto de la madera en la industria del papel o en la fabricación de biocompuestos depende de su fracción de polímeros insolubles. La CPH se clasifica como una biomasa lignocelulósica compuesta por celulosa, hemicelulosa y lignina, cuya proporción varía significativamente dependiendo del tratamiento post-cosecha y la variedad.

El contenido de holocelulosa (celulosa + hemicelulosa) en la cáscara de cacao alcanza valores de hasta el 74%, lo cual es superior a algunas maderas comerciales como el *Pinus pinaster* (70%). Esta propiedad posiciona a los residuos de cacao amazónicos como una fuente competitiva de fibra para la industria papelera, permitiendo la producción de pulpa con menor presión sobre los bosques nativos (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Tabla 3: Fracciones lignocelulósicas identificadas:

Componente Estructural	Rango (% m.s.)	Función/Potencial
Celulosa	15.49 - 35.40	Bioplásticos, refuerzo de polímeros, papel.
Hemicelulosa	8.00 - 37.00	Biogás, producción de xilitol.
Lignina (Insoluble)	13.40 - 43.60	Adsorbentes industriales, bioenergía.



Fuente: Compilación de Meza-Sepulveda et al., 2024, Quiroz et al. (2021), Sánchez et al. (2022) y Suarez et al., (2024)

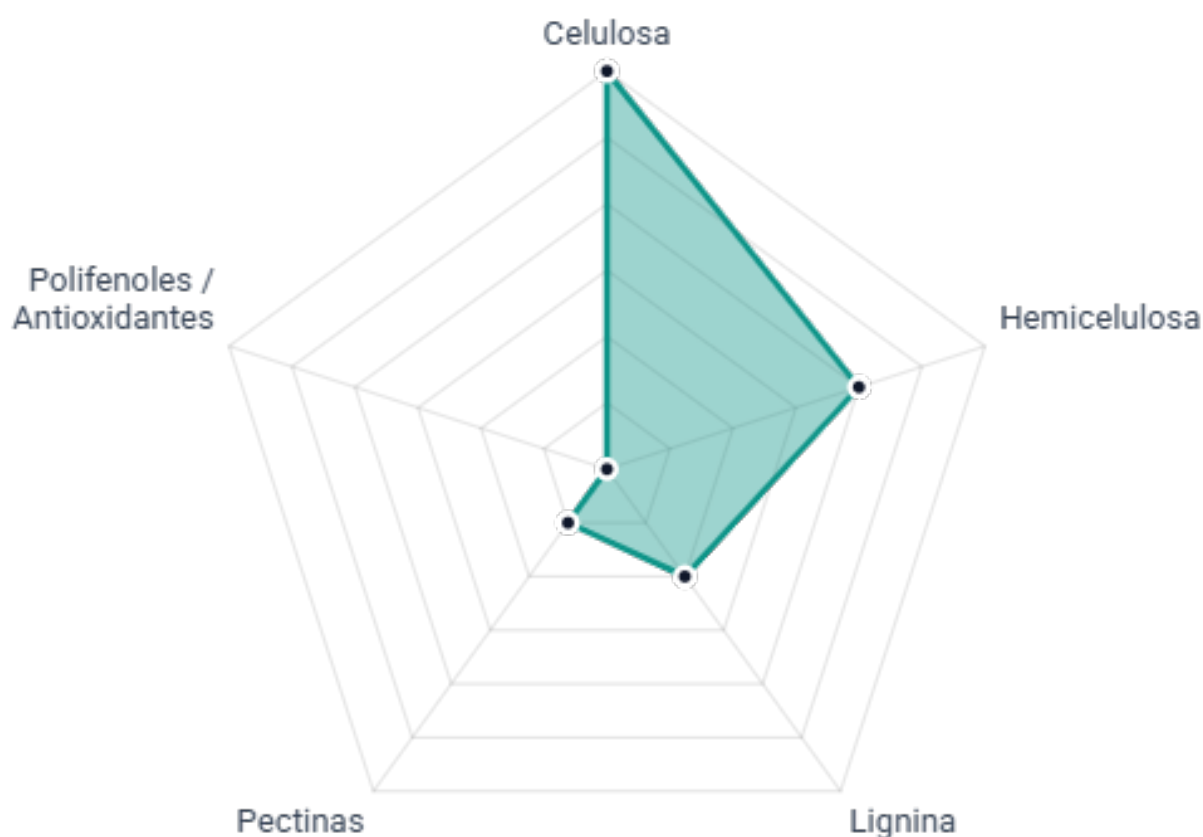


Figura 2: Perfil estructural y bioactivo

Hallazgo Clave: La sinergia entre celulosa, pectinas y lignina permite aplicaciones que van desde la producción de bioetanol hasta el desarrollo de películas biodegradables para embalaje.

El alto contenido de lignina (hasta un 43.6% reportado en algunos metaanálisis regionales) es una espada de doble filo. Por un lado, confiere una gran estabilidad mecánica y resistencia térmica a la biomasa, lo que favorece procesos termoquímicos como la pirólisis para generar bio-aceite y carbón activado. Por otro lado, la lignina actúa como una barrera recalcitrante que impide el acceso de las enzimas a la celulosa para la producción de biocombustibles. En la Amazonía ecuatoriana, para optimizar la producción de bioetanol a partir de cáscara, se requieren pretratamientos agresivos (alcalinos o enzimáticos) que rompan esta matriz de lignina, liberando los azúcares fermentables.

Caracterización de compuestos bioactivos y polifenoles

Uno de los aspectos más innovadores en la valorización de los residuos de cacao es la recuperación de metabolitos secundarios con propiedades antioxidantes y medicinales. Los residuos generados en la Amazonía (especialmente del clon CCN-51) contienen una amplia gama de compuestos fenólicos y alcaloides que pueden ser extraídos mediante tecnologías sostenibles (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).



El análisis mediante cromatografía líquida de alta resolución acoplada a espectrometría de masas (UHPLC-MS) ha detectado hasta 51 compuestos distintos en extractos de residuos amazónicos. Entre estos, los polifenoles totales en la cáscara presentan valores de \$26.64\$ mg GAE \$g^{-1}\$ (miligramos de equivalente de ácido gálico por gramo). Estos niveles son superiores a los reportados en otras variedades de la región andina, sugiriendo que las condiciones de estrés biótico y abiótico en la Amazonía estimulan una mayor síntesis de estos compuestos protectores (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Tabla 4: Resultados cromatográficos identificados

Compuesto	Concentración (mg g ⁻¹ extracto seco)	Potencial Bioactivo
Epicatequina	6.07 - 21.64	Cardioprotector, antioxidante.
Catequina	2.65 - 3.09	Antimicrobiano, antiinflamatorio.
Teobromina	0.53 - 15.41	Estimulante, diurético, vasodilatador.
Cafeína	0.22 - 4.96	Estimulante del sistema nervioso central.

Fuente: Elaboración basada en García et al. (2020), Meza-Sepulveda et al. (2024) y Ortiz et al. (2024).

Es importante notar que la cascarilla del grano (el residuo del proceso de tostado) tiende a presentar concentraciones más altas de epicatequina y teobromina que la cáscara de la mazorca. No obstante, la enorme disponibilidad de biomasa de CPH en el campo la convierte en una fuente más accesible para la extracción industrial de antioxidantes a gran escala. Estos extractos han demostrado una capacidad significativa para capturar radicales libres en ensayos de DPPH y ABTS, superando el desempeño de harinas convencionales como la de trigo, lo que fundamenta su uso en la industria de alimentos funcionales y nutraceuticos Meza-Sepulveda et al. (2024) y Ortiz et al. (2024).

Perfil de ácidos grasos y lípidos

Aunque el contenido lipídico total de los residuos de cacao es bajo (menor al 2.5% m.s.), el perfil de ácidos grasos presentes en esta fracción es de gran interés para las industrias cosmética y farmacéutica. La extracción de lípidos de la cáscara de cacao amazónica revela una composición equilibrada entre ácidos grasos saturados e insaturados (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

En la cáscara (CPH), predominan los ácidos palmítico (36.92%) y linoleico (36.35%), seguidos por el ácido oleico (10.09%). Esta alta concentración de ácido linoleico, un ácido graso esencial (Omega-6), confiere a los extractos de cáscara propiedades emolientes y fotoprotectoras, con potencial para ser utilizados en la formulación de bloqueadores solares de origen natural o cremas regeneradoras de la piel. Por el contrario, en la cascarilla del grano, el ácido oleico (27.27%) y el ácido esteárico (26.01%) son los componentes mayoritarios, otorgando una mayor estabilidad oxidativa al producto final (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).



Compuestos aromáticos y volátiles

La valorización de los residuos también se extiende a la industria de sabores y fragancias. Mediante la técnica de microextracción en fase sólida (HS-SPME) acoplada a GC-MS, se han identificado diversas familias de compuestos volátiles en los residuos amazónicos, incluyendo pirazinas, alcoholes, ésteres y aldehídos (Meza-Sepulveda et al., 2024).

Las pirazinas, responsables de las notas aromáticas características del chocolate (tostado, nuez, dulce), se encuentran presentes en la cascarilla del grano como resultado de las reacciones de Maillard durante el procesamiento. En la cáscara de la mazorca fresca, predominan los alcoholes (como el 2-heptanol y el feniletanol) y aldehídos (como el nonanal), que aportan perfiles aromáticos frutales, verdes y cítricos. Estos componentes pueden ser recuperados mediante procesos biotecnológicos de fermentación en estado sólido utilizando cepas fúngicas, transformando el residuo en un soporte inerte para la producción de fragancias naturales (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

Rutas de valorización agroindustrial en la Amazonía

Basándose en la caracterización fisicoquímica detallada, se proponen cuatro pilares estratégicos para el aprovechamiento de los residuos de cacao en el ecosistema amazónico ecuatoriano:

1. Producción de sustratos y abonos orgánicos

La CPH procesada ha demostrado ser un material de soporte excepcional para la germinación y desarrollo de plántulas de hortalizas como el pepino y el tomate. En pruebas comparativas realizadas por la Escuela de Ingeniería Química de ITCA-FEPADE, se determinó que la cáscara de cacao permite alcanzar un porcentaje de germinación del 100% en condiciones controladas, superando a la tierra negra y a sustratos comerciales.

Esta eficacia se debe a la estructura porosa de la cáscara (rica en fibra) que facilita la aireación de las raíces y la retención de agua, sumado a un pH ligeramente ácido (5.7) que favorece la disponibilidad de micronutrientes. Para la Amazonía, donde la importación de sustratos comerciales es costosa, la transformación local de cáscaras en sustratos nutritivos representa un ahorro directo para los pequeños productores hortícolas y una vía para la bioprospección de suelos (Meza-Sepulveda et al., 2024).

2. Biorefinería y bioenergía

La alta carga de azúcares fermentables identificada en el clon CCN-51 permite posicionar a la CPH como una materia prima viable para la producción de bioetanol de segunda generación. Aunque el rendimiento etanólico depende de pretratamientos enzimáticos para degradar la lignina y la celulosa (15% - 35%), la abundancia de biomasa en provincias como Napo y Sucumbíos justifica la inversión en pequeñas plantas de procesamiento (Meza-Sepulveda et al., 2024; Suarez et al., 2024).

Asimismo, la digestión anaerobia de los residuos (especialmente cuando se mezcla el mucílago con la cáscara triturada) ofrece una ruta para la generación de biogás. Este biogás puede ser utilizado en las mismas fincas para alimentar los secadores térmicos de grano, sustituyendo el uso de combustibles fósiles o leña de bosques nativos, lo que reduce la huella de carbono de la producción cacaotera (Meza-Sepulveda et al., 2024).



3. Alimentos funcionales y aditivos industriales

La industria alimentaria puede beneficiarse de la alta concentración de fibra dietética total (18.3% - 59%) y polifenoles presentes en la cáscara de cacao. La elaboración de harinas a partir de residuos de CCN-51 permite obtener ingredientes con alta capacidad antioxidante que pueden sustituir parcialmente la harina de trigo en panadería, reduciendo el contenido calórico e incrementando el valor nutricional de galletas y muffins.

Otra aplicación de alto valor es la extracción de pectinas. La cáscara de cacao posee niveles de pectina comparables a los de la manzana y los cítricos. Mediante hidrólisis ácida o extracción con agua subcrítica, se pueden obtener rendimientos superiores al 10%, produciendo pectinas de alta calidad para la industria de confituras, mermeladas y cosméticos, donde actúan como agentes gelificantes y estabilizadores naturales (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

4. Alimentación animal y biorremediación

Aunque la alta lignificación de la cáscara madura limita su uso directo en rumiantes, el procesamiento térmico y la suplementación con fuentes de nitrógeno no proteico pueden convertir a la CPH en un ingrediente energético valioso. En sistemas de producción amazónicos, el uso de harina de cáscara puede reducir los costos de alimentación en ganadería de carne y leche, aprovechando la disponibilidad local del recurso.

Finalmente, las propiedades adsorbentes de la cáscara de cacao triturada permiten su uso en la biorremediación de aguas contaminadas. La estructura lignocelulósica de la CPH actúa como un bio-filtro capaz de remover metales pesados (como Pb y Cu) de efluentes industriales o de actividades extractivas en la región amazónica, ofreciendo una solución económica y sostenible para la protección de las cuencas hidrográficas (Chico, 2022; Meza-Sepulveda et al., 2024).

4. Conclusiones

Los residuos del cacao, que representan hasta el 80% de la masa del fruto, constituyen una fuente subutilizada de biopolímeros (celulosa, pectina) y compuestos bioactivos.

La caracterización fisicoquímica confirma que estos subproductos cumplen con los requerimientos técnicos para ser integrados en la industria alimentaria, de empaques biodegradables y de energías renovables.

Para la región de la Amazonía ecuatoriana, la implementación de biorrefinerías basadas en los desechos del cacao representa una estrategia vital para transitar hacia una bioeconomía circular, reduciendo impactos ambientales y generando nuevas fuentes de ingresos.



Referências

- Arévalo-Gardini, E., Canto, M., Alegre, J., Loli, O., Julca, A., & Baligar, V. (2015). Changes in Soil Physical and Chemical Properties in Long Term Improved Natural and Traditional Agroforestry Management Systems of Cacao Genotypes in Peruvian Amazon. *PLoS ONE*, 10. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0132147>
- Cádiz-Gurrea, M., Fernández-Ochoa, Á., Leyva-Jiménez, F., Guerrero-Muñoz, N., Del Carmen Villegas-Aguilar, M., Pimentel-Moral, S., Ramos-Escudero, F., & Segura-Carretero, A. (2020). LC-MS and Spectrophotometric Approaches for Evaluation of Bioactive Compounds from Peru Cocoa By-Products for Commercial Applications. *Molecules*, 25. <https://doi.org/10.3390/molecules25143177>
- Chico, M. (2022). Valorization of Cocoa by Products: Applications and Perspectives in the Food Industry. *Alimentos Ciencia e Ingeniería*. <https://doi.org/10.31243/aci.v29i2.1857>
- De Jesus Silva, N., De Lima, C., Santos, R., Rogez, H., & De Souza, J. (2024). Exploring variations in quality parameters of Theobroma cacao L. beans from Eastern Amazonia. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39295>
- De La Peña-Armada, R., Ascrizzi, R., Alarcon, R., Viteri, M., Flamini, G., & Prieto, J. (2025). Unique Composition and Sustainability Aspects of the EETP801 Amazonian Cocoa Cultivar vs. CCN51 and Commercial Cocoas. *Beverages*. <https://doi.org/10.3390/beverages11040093>
- Güemes-Vera, N., Ríos-Pérez, F., Simental, S., Lira, A., & Martini, J. (2020). Harina de cáscara de vaina de cacao: Una opción para el aprovechamiento de residuos agroindustriales. , 6, 5-7. <https://doi.org/10.29057/icap.v6i11.5322>
- Inga, M., Betalleluz-Pallardel, I., Puma-Isuiza, G., Cumpa-Arias, L., Osorio, C., Valdez-Arana, J., & Vargas-De-La-Cruz, C. (2024). Chemical analysis and bioactive compounds from agrifood by-products of peruvian crops. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1341895>
- Izurieta-Castelo, M., Vizuete-Montero, M., Chaglla-Cango, M., Zabala-Vizuete, R., Zurita-Quishpe, C., & Ochoa-Cordero, J. (2025). Optimización del manejo de residuos orgánicos en plantaciones de cacao: potencial de subproductos en sistemas de economía circular. *Multidisciplinary Latin American Journal (MLAJ)*. <https://doi.org/10.62131/mlaj-v3-n1-026>
- Meza-Sepulveda, D., Hernandez, C., & Quintero-Saavedra, J. (2024). Physicochemical characterization of the pod husk of Theobroma cacao L. of clones CCN51, FEAR5, and FSV41 and its agroindustrial application. *Heliyon*, 10. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e28761>
- Ortiz, J., Casanoves, F., Balanta, J., & Celis, G. (2024). Physical and chemical properties of cocoa (Theobroma cacao) and palm kernel cake (Elaeis guineensis) by-products. *Food Research*. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.8\(4\).283](https://doi.org/10.26656/fr.2017.8(4).283)
- Suarez, A., Cadena-Chamorro, E., Ciro-Velásquez, H., & Arango-Tobón, J. (2024). By-products of the cocoa agribusiness: high valueadded materials based on their bromatological and chemical characterization. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v77n1.107738>
- Tinoco-Jaramillo, L., Vargas-Tierras, Y., Habibi, N., Caicedo, C., Chanaluisa, A., Paredes-Arcos, F., Viera, W., Almeida, M., & Vásquez-Castillo, W. (2024). Agroforestry Systems of Cocoa (Theobroma cacao L.) in the Ecuadorian Amazon. *Forests*. <https://doi.org/10.3390/f15010195>



Vargas-Arana, G., Merino-Zegarra, C., Tang, M., Pertino, M., & Simirgiotis, M. (2022). UHPLC–MS Characterization, and Antioxidant and Nutritional Analysis of Cocoa Waste Flours from the Peruvian Amazon. *Antioxidants*, 11. <https://doi.org/10.3390/antiox11030595>