RECIENA
Revista Científica Agropecuaria
ISSN 2773 - 7608
https://reciena.espoch.edu.ec/index.php/reciena/index
Facultad de Ciencias Pecuarias

ARTÍCULO ORIGINAL *Recibido:* 20/08/2026 · *Aceptado:* 18/09/2026 · *Publicado:* 07/10/2026
DOI: https://doi.org/10.47187/mry2wb10

VALORIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS DEL CACAO MEDIANTE TECNOLOGÍAS EMERGENTES: EVIDENCIA, LIMITACIONES Y PRIORIDADES DE INVESTIGACIÓN

VALORIZATION OF COCOA BY PRODUCTS USING EMERGING TECHNOLOGIES: EVIDENCE, LIMITATIONS AND RESEARCH PRIORITIES

[1] Cristina Gisela Arias Arias * | cristina.arias@espoch.edu.ec

[1] Riobamba Ecuador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Ciencias Pecuarias, Carrera de Agroindustria.

E-mail: * cristina.arias@espoch.edu.ec

RESUMEN

La cáscara de la mazorca, el mucílago y la cascarilla del grano de cacao tienen composiciones y trayectorias de procesamiento diferentes. Esta revisión crítica examina la evidencia sobre su valorización alimentaria mediante campos eléctricos pulsados, presión hidrostática y tecnologías de extracción complementarias. Se realizó una búsqueda documental dirigida hasta septiembre de 2026 en sitios de editoriales, PubMed, repositorios institucionales y organismos estadísticos; se incluyeron trabajos con identificación verificable de la matriz, tratamiento y resultado. La evidencia directa respalda la aplicación de campos eléctricos pulsados a cascarilla y cáscara de mazorca; un ensayo reciente utilizó 6 kV/cm y 1000–5000 pulsos. Para pectina de cáscara, la extracción enzimática obtuvo 10,20 g/100 g de materia prima frente a 8,08 g/100 g con el método químico en el mismo estudio, mientras que el agua subcrítica alcanzó 6,58 % en otro diseño. Estas cifras no permiten una comparación entre estudios por diferencias de materia prima y protocolo. La presión hidrostática cuenta con antecedentes en otras matrices, pero la evidencia directa sobre subproductos del cacao sigue limitada. La inocuidad, el balance de materia, la energía y los costos rara vez se estudian conjuntamente. Se propone comparar cada tecnología con un control convencional sobre lotes caracterizados, con medidas de rendimiento, calidad e impacto. La posibilidad de valorización es real, pero su superioridad industrial y su seguridad alimentaria requieren validación específica.

Palabras clave: *Theobroma cacao; cascarilla; cáscara de mazorca; campos eléctricos pulsados; presión hidrostática; economía circular.*

ABSTRACT

Cocoa pod husk, pulp mucilage and cocoa bean shell differ in composition and processing history. This critical review examines evidence for their food valorization through pulsed electric fields, high pressure processing and complementary extraction technologies. A targeted literature search through September 2026 covered publisher websites, PubMed, institutional repositories and official statistical sources; records were retained when the matrix, treatment and outcome were identifiable. Direct evidence supports pulsed electric field treatment of bean shell and pod husk; a recent study used 6 kV/cm and 1,000–5,000 pulses. For pod husk pectin, enzymatic extraction yielded 10.20 g/100 g feedstock versus 8.08 g/100 g with a chemical method within one study, while subcritical water yielded 6.58% under another design. Differences in material and protocol preclude comparison across studies. High pressure has supporting evidence from other plant matrices, but direct evidence for cocoa by products remains limited. Safety, material balances, energy and costs are seldom examined together. We propose matrix-specific comparisons against a conventional control using characterized batches and simultaneous measures of recovery, quality and impact. Valorization is plausible, but industrial superiority and food safety require application-specific validation.

Keywords: *Theobroma cacao; cocoa bean shell; cocoa pod husk; pulsed electric fields; high pressure processing; circular economy.*

Reciena Vol. 6 Núm. 2 (2026): 66 - 70

1. INTRODUCCIÓN

La valorización de subproductos agroindustriales suele presentarse como una solución directa a la pérdida de recursos. En realidad, el aprovechamiento depende de que el material pueda recuperarse con calidad constante, estabilizarse a tiempo y transformarse en un ingrediente seguro cuyo valor compense transporte y procesamiento. El informe de la FAO sobre pérdidas y desperdicio alimentario aporta el marco general, aunque sus porcentajes globales no equivalen a una estimación de subproductos del cacao [1].

La escala productiva ecuatoriana justifica estudiar opciones específicas: la ESPAC 2022 registró 591 557 ha plantadas de cacao, 509 179 ha cosechadas y 337 149 t de producción [2]. Dividir la producción reportada por la superficie cosechada da 0,662 t/ha, un indicador descriptivo agregado. Ninguna de estas cifras mide la masa de cáscara, mucílago o cascarilla disponible; multiplicarlas por una fracción supuesta de residuos produciría un inventario ficticio. También varían la variedad, la humedad, la fermentación y las condiciones poscosecha.

La cáscara de mazorca se genera en la finca y plantea retos de humedad y transporte; el mucílago participa en la fermentación; la cascarilla se separa del grano durante la elaboración de chocolate. El término «cáscara» se usa de forma ambigua en la literatura, de modo que identificar la anatomía y el punto de generación constituye una condición previa para comparar estudios. Investigaciones recientes documentan extracción de pectina de mazorca y compuestos fenólicos de cascarilla mediante tratamientos físicos o enzimáticos [3–8].

El manuscrito original destacaba la presión hidrostática elevada y los campos eléctricos pulsados, pero extrapolaba resultados de uva y oliva al cacao. Esta revisión amplía el alcance a comparadores pertinentes para responder tres preguntas: ¿qué evidencia directa existe por matriz y tecnología?, ¿qué se puede comparar cuantitativamente sin confundir protocolos?, y ¿qué condiciones de seguridad y escala deben resolverse antes de proponer un producto alimentario?

2. MATERIALES Y MÉTODOS

A. ***Diseño, búsqueda y selección***

Se elaboró una revisión narrativa crítica con extracción estructurada de información; no se presenta como revisión sistemática ni metaanálisis. El manuscrito suministrado se utilizó para identificar términos y referencias iniciales. El 25 de septiembre de 2026 se realizaron búsquedas dirigidas en PubMed, páginas de revistas y editoriales, repositorios universitarios y portales de FAO e INEC. Se utilizaron combinaciones en español e inglés de «cocoa bean shell», «cocoa pod husk», «cocoa mucilage», «pulsed electric field», «high pressure», «pectin», «extraction», «cadmium», «ochratoxin» y «Ecuador ESPAC 2022». La búsqueda fue selectiva y no permite estimar la exhaustividad del campo.

Se incluyeron investigaciones originales con identificación verificable de subproducto, tecnología, condiciones o desenlaces, además de publicaciones oficiales para contexto estadístico. Los estudios en matrices distintas del cacao se conservaron solo como antecedentes de mecanismo y se marcaron como evidencia indirecta. Se excluyeron referencias incompletas, tesis no verificables, afirmaciones comerciales y resultados cuyo denominador o unidad no podían identificarse. La selección se concentró en estudios de extracción, composición o inocuidad, sin restringir por resultado favorable.

B. ***Extracción, comparación y límites***

Para cada fuente se registraron matriz, escala o procedimiento informado, variables de proceso, desenlace medido, denominador del rendimiento y principal limitación. Se conservaron las unidades publicadas. Los valores de rendimiento se comparan únicamente dentro de un mismo experimento cuando existe control; entre publicaciones se exponen como ejemplos de factibilidad, sin calcular un efecto combinado. El cambio relativo de 10,20 frente a 8,08 g/100 g se calculó como (10,20 − 8,08)/8,08 × 100 = 26,2 %; no es una medida de superioridad general. No se infieren tasas de contaminación ni beneficios clínicos a partir de ensayos químicos in vitro. La ausencia de un protocolo de búsqueda exhaustiva, de doble cribado y de evaluación formal de sesgo limita la fuerza de las inferencias.

3. RESULTADOS

A. ***Magnitud del cultivo y definición de las corrientes***

Indicador ESPAC 2022	**Valor**	**Interpretación**
Superficie plantada de cacao	591 557 ha	Área total plantada; no equivale a área cosechada.
Superficie cosechada de cacao	509 179 ha	Denominador de la productividad agregada.

Indicador ESPAC 2022	Valor	Interpretación
Producción de cacao	337 149 t	Producción reportada; no cuantifica subproductos.
Producción / área cosechada	0,662 t/ha	Cálculo descriptivo propio: 337 149 / 509 179.

Tabla 1. *Cifras de la ESPAC 2022 [2]. La última fila es un cálculo propio; ninguna fila estima residuos disponibles.*

Para construir un inventario industrial habría que pesar cada corriente en base húmeda y seca en puntos concretos de la cadena, registrar humedad inicial y pérdidas de manejo, y estimar la fracción técnicamente recuperable. La cascarilla generada en planta puede concentrarse espacialmente; la cáscara de mazorca queda dispersa entre fincas; el mucílago no debe retirarse sin medir el efecto sobre fermentación y calidad sensorial.

B. ***Comparación de los estudios experimentales***

Estudio y matriz	Tratamiento y condición	Resultado publicado	Alcance de la inferencia
Barbosa-Pereira et al. [3], cascarilla	Pretratamiento con campos eléctricos pulsados y extracción posterior	Mejora de recuperación de polifenoles reportada por los autores.	Evidencia directa de viabilidad; requiere revisar energía y control por lote.
Janma et al. [4], cáscara de mazorca	6 kV/cm; 1000–5000 pulsos; agua y mezclas hidroalcohólicas	Mejor desempeño fenólico con 50–75 % etanol y 1000–3000 pulsos, según el resumen.	Respuesta asociada tanto a solvente como a pulsos; no prueba rendimiento industrial.
Hennessey-Ramos et al. [5], cáscara de mazorca	Celulasa 40 µL/g; 18,54 h; 6 % de sustrato	Pectina: 10,20 g/100 g; control químico: 8,08 g/100 g.	Comparación interna: +26,2 % de rendimiento gravimétrico; pureza no idéntica.
Anoraga et al. [6], cáscara de mazorca	Agua subcrítica a 120 °C, 10 min; sólido:líquido 1:15	Pectina: 6,58 %; valor predicho 7,29 %.	Diseño distinto: no comparar su porcentaje con [5] como eficacia relativa.
Younes et al. [7], cascarilla	Extracción alcalina de polisacáridos de pared	Fracción aislada: 80,6–86 % polisacáridos pécticos.	Composición de fracción aislada, no rendimiento de pectina por masa inicial.

Tabla 2. *Evidencia experimental por corriente. Los valores corresponden a desenlaces y denominadores distintos; no constituyen un metaanálisis.*

Dos resultados merecen una lectura cuidadosa. En el estudio enzimático [5], la diferencia de rendimiento gravimétrico no implica automáticamente mayor calidad: el contenido de ácido galacturónico informado fue 52,06 g/100 g de pectina para la extracción enzimática y 60,97 g/100 g para la química. En el trabajo de agua subcrítica [6], 6,58 % fue un resultado obtenido a condiciones optimizadas, no una tasa nacional de recuperación. Estos ejemplos muestran por qué rendimiento, composición y funcionalidad deben presentarse juntos.

C. ***Principios de operación y evidencia indirecta***

Los campos eléctricos pulsados someten el tejido a un campo que puede inducir electroporación. Su efecto sobre la difusión depende de intensidad, duración y número de pulsos, geometría, conductividad, temperatura, tamaño de partícula y solvente. Los estudios directos de cascarilla [3] y mazorca [4] respaldan su exploración, pero no permiten afirmar que la energía total o el costo por kilogramo recuperado sean menores que los de cualquier método térmico.

La presión hidrostática se aplica a sistemas cerrados y puede modificar la estructura celular y el transporte de compuestos. Corrales et al. compararon extracción asistida por ultrasonido, presión y pulsos en subproductos de uva [9]; es un antecedente metodológico, no una medición sobre cacao. La presión usada para conservación microbiológica tampoco debe equipararse a una extracción alimentaria: cambian objetivo, matriz, medio y variables de respuesta [10]. En las fuentes directas identificadas para cacao, la evidencia de presión hidrostática es insuficiente para ordenar esta tecnología frente a pulsos eléctricos.

La extracción enzimática y el agua subcrítica constituyen comparadores técnicos relevantes porque se han estudiado directamente para pectina de mazorca [5,6]. El agua subcrítica evita solventes orgánicos en la etapa de extracción, pero demanda calor y presión; un balance ambiental requiere cuantificar ambas entradas. La revisión de una línea de proceso debe incluir preparación del material, extracción, concentración, secado y tratamiento de

efluentes, no solo la etapa de mayor rendimiento de laboratorio.

D. ***Inocuidad y aplicación alimentaria***

La cascarilla puede concentrar sustancias indeseables procedentes del cultivo o del secado y almacenamiento. Un estudio sobre ocratoxina A encontró mayor concentración en la cubierta del grano que en el nib tras el descascarillado [11]. La investigación isotópica sobre plomo también señaló la posibilidad de contaminación de la cubierta durante operaciones poscosecha [12]. Estos hallazgos justifican medir contaminantes en el lote y en el extracto final; no demuestran que toda cascarilla sea insegura.

La teobromina y la cafeína se deben cuantificar según la dosis prevista y la población destinataria. La detección de capacidad antioxidante mediante ensayos DPPH o FRAP, o de inhibición enzimática in vitro, tampoco autoriza promesas de prevención de cáncer, diabetes o enfermedades cardiovasculares. Antes de comercializar una infusión u otro ingrediente se necesitan caracterización microbiológica, contaminantes, estabilidad, evaluación sensorial, exposición dietaria y revisión de la normativa aplicable al destino previsto.

4. DISCUSIÓN

A. ***Qué resuelve la evidencia y qué permanece abierto***

La evidencia ha avanzado desde el planteamiento genérico de «residuo valioso» hacia ensayos sobre corrientes definidas. Para pulsos eléctricos existen estudios directos en cascarilla y mazorca [3,4]; para pectina de mazorca, los métodos enzimático y de agua subcrítica ofrecen controles y variables concretas [5,6]. El principal vacío para presión hidrostática aplicada al cacao sigue siendo la escasez de comparaciones directas bajo condiciones equivalentes. Una comparación entre tecnologías debe igualar lote, base de masa seca, solvente, tiempo total y análisis de producto, y reportar incertidumbre experimental.

El escenario ecuatoriano exige además evaluar la localización de la planta. La cáscara de mazorca húmeda puede requerir estabilización cercana a la finca, mientras que la cascarilla suele estar disponible en instalaciones de tostado. El costo logístico por kilogramo de producto recuperado, junto con la demanda energética del secado, puede cambiar el orden de preferencia tecnológica. Las cifras de ESPAC [2] muestran la importancia del cultivo, pero no resuelven esa decisión empresarial.

B. ***Agenda experimental propuesta***

Etapa	Variable de control y medición	Criterio de decisión
Muestreo	≥3 lotes independientes; variedad, origen, humedad, fecha y etapa de proceso.	Cuantificar variabilidad real de materia prima.
Control	Extracción convencional con mismo lote, solvente y base seca.	Atribuir el cambio al tratamiento comparado.
Diseño	Diseño factorial o superficie de respuesta; intensidad/dosis y tiempo; réplicas independientes.	Estimar interacciones e intervalos de confianza.
Producto	Masa extraída, pureza, perfil de compuestos, actividad funcional y estabilidad.	Evitar maximizar solo fenoles totales.
Seguridad	Cadmio, plomo, ocratoxina A, microbiología, metilxantinas y exposición.	Comprobar aptitud para uso previsto.
Escala	kWh/kg de materia seca, agua y solvente/kg de producto, costos y efluentes.	Evaluar factibilidad técnica y ambiental.

Tabla 3. *Protocolo de validación propuesto por esta revisión; los umbrales y el número definitivo de réplicas deben fijarse mediante potencia estadística y normativa del producto.*

Un estudio de alto impacto podría formular como hipótesis que un pretratamiento por pulsos aumenta el rendimiento de un compuesto objetivo por unidad de energía y solvente respecto al control, sin disminuir la calidad ni aumentar la exposición a contaminantes. Esa hipótesis obliga a escoger una corriente, un producto y un desenlace primario antes de recolectar datos. Un análisis de sensibilidad de costos y un análisis de ciclo de vida con límites de sistema explícitos completarían la evaluación, pero no sustituyen los experimentos.

C. ***Limitaciones de la revisión***

La búsqueda fue dirigida y no tuvo registro prospectivo, conteo exhaustivo de registros ni evaluación pareada de sesgo. Se incluyeron resúmenes cuando el texto completo no estaba disponible; por ello, algunos detalles operativos permanecen sin verificar. Las unidades y matrices heterogéneas impidieron la síntesis estadística conjunta. El trabajo aporta una síntesis crítica y una ruta de validación, no resultados experimentales nuevos ni una demostración de superioridad de tecnologías.

5. CONCLUSIONES

La valorización de cacao debe organizarse por corriente material. Los campos eléctricos pulsados tienen evidencia experimental directa en cascarilla y cáscara de mazorca; la extracción enzimática y el agua subcrítica muestran rutas comparables para pectina de mazorca dentro de sus respectivos estudios. La presión hidrostática conserva interés tecnológico, pero no puede recomendarse como opción superior para cacao a partir de resultados de otras matrices.

Para transformar estos resultados en ingredientes alimentarios o procesos industriales se necesitan ensayos con controles equivalentes, balances completos de masa y energía y verificación de inocuidad. La prioridad investigativa es comparar rendimiento y calidad por unidad de recurso sobre lotes independientes, acompañados de evaluación económica y ambiental. Esa evidencia permitiría decidir qué subproducto y qué proceso generan valor en un contexto productivo definido.

8. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. Food and Agriculture Organization of the United Nations. The State of Food and Agriculture 2019: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction. Rome: FAO; 2019. https://www.fao.org/interactive/state-of-food-agriculture/2019/en/

2. Instituto Nacional de Estadística y Censos. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua, ESPAC 2022. Quito: INEC; 2023. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/encuesta-de-superficie-y-produccion-agropecuaria-continua-2022/

3. Barbosa-Pereira L, Guglielmetti A, Zeppa G. Pulsed electric field assisted extraction of bioactive compounds from cocoa bean shell and coffee silverskin. Food Bioprocess Technol. 2018;11:818–835. doi:10.1007/s11947-017-2045-6.

4. Janma S, Sassa-deepaeng T, Tharawatchruk W, Pranamormkrit P, Saijai S, Pheerathamrongrat W, et al. Pulsed electric field–assisted green extraction of cocoa pod husk: enhancement of antioxidant and tyrosinase inhibitory activities. J Sci Agric Technol. 2025;6(2):29–39. doi:10.14456/jsat.2025.8.

5. Hennessey-Ramos L, Murillo-Arango W, Vasco-Correa J, Paz Astudillo IC. Enzymatic extraction and characterization of pectin from cocoa pod husks (Theobroma cacao L.) using Celluclast 1.5 L. Molecules. 2021;26(5):1473. doi:10.3390/molecules26051473.

6. Anoraga SB, Shamsudin R, Hamzah MH, Sharif S, Saputro AD, Mohd Basri MS. Optimization of subcritical water extraction for pectin extraction from cocoa pod husks using the response surface methodology. Food Chem. 2024;459:140355. doi:10.1016/j.foodchem.2024.140355.

7. Younes A, Karboune S, Liu L, Andreani ES, Dahman S. Extraction and characterization of cocoa bean shell cell wall polysaccharides. Polymers. 2023;15(3):745. doi:10.3390/polym15030745.

8. Muñoz-Almagro N, Valadez-Carmona L, Mendiola JA, Ibáñez E, Villamiel M. Structural characterisation of pectin obtained from cacao pod husk: comparison of conventional and subcritical water extraction. Carbohydr Polym. 2019. doi:10.1016/j.carbpol.2019.04.040.

9. Corrales M, Toepfl S, Butz P, Knorr D, Tauscher B. Extraction of anthocyanins from grape by-products assisted by ultrasonics, high hydrostatic pressure or pulsed electric fields: a comparison. Innov Food Sci Emerg Technol. 2008;9(1):85–91.

10. Mújica-Paz H, Valdez-Fragoso A, Tonello C, Welti-Chanes J, Torres JA. High-pressure processing technologies for the pasteurization and sterilization of foods. Food Bioprocess Technol. 2011;4:969–985.

11. Amézqueta S, González-Peñas E, Murillo M, López de Cerain A. Occurrence of ochratoxin A in cocoa beans: effect of shelling. Food Addit Contam. 2005;22(6):590–596. doi:10.1080/02652030500130160.

12. Rankin CW, et al. Lead contamination in cocoa and cocoa products: isotopic evidence of global contamination. Environ Health Perspect. 2005;113:1344–1348. doi:10.1289/ehp.8009.