

Innovación Sostenible en el Uso de Residuos del Cacao para la Biorremediación de Suelos en la Provincia de Los Ríos, Ecuador Sustainable Innovation in the Use of Cocoa Waste for Soil Bioremediation in Los Ríos Province, Ecuador

Ximena Cervantes-Molina¹, Roberto Barragán-Monroy¹, Yarelys Ferrer-Sánchez¹,
Fernando Abasolo-Pacheco¹ y Mariela Díaz-Ponce¹

¹ Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Facultad de Ciencia de la Ingeniería. Av. Quito Km 1.5, Vía a Santo Domingo de los Tsáchilas, C.P. 120501, Quevedo, Los Ríos, Ecuador; (X.C.M.), (R.B.M.), (Y.F.S.), (F.A.P.), (M.D.P).

¹ Autora para correspondencia: xcervantes@uteq.edu.ec

RESUMEN

El manejo inadecuado de los residuos del cacao constituye una limitante para la sostenibilidad agrícola y una fuente potencial de contaminación del suelo en ecosistemas productivos. Su valorización biotecnológica representa una alternativa viable para fortalecer la economía circular y promover la recuperación de suelos degradados. Esta investigación tuvo como propósito analizar las prácticas de manejo y valorización de los residuos del cacao en la provincia de Los Ríos (Ecuador), evaluar su relación con los indicadores ambientales asociados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS 6, 12, 13 y 15) y proponer un modelo de gestión circular con enfoque de innovación sostenible. El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo con diseño no experimental, descriptivo y correlacional, aplicando encuestas estructuradas a 371 productores seleccionados mediante muestreo probabilístico estratificado. Se realizaron análisis descriptivos, correlaciones de Spearman y componentes principales. Los resultados mostraron que el 39% de los productores aprovecha los residuos del cacao como abono orgánico, mientras que el 33% los desecha sin tratamiento. El índice de conocimiento e innovación sostenible fue bajo (1.96) y el índice global de sostenibilidad ambiental alcanzó un valor medio (2.8). Se identificaron correlaciones negativas significativas entre la disposición inadecuada de residuos y los indicadores ambientales ($p = -0.518$ a -0.375 ; $p < 0,001$) y asociaciones positivas entre el conocimiento e innovación sostenible y los ODS 6, 12 y 15 ($p = 0.316$ a 0.415 ; $p < 0.001$). El análisis de componentes principales reveló tres dimensiones que explican el 75.4 % de la varianza total: prácticas sostenibles y manejo de recursos, conocimiento e innovación técnica y conservación ambiental. En conjunto, los hallazgos sustentan un modelo de gestión circular basado en la valorización biotecnológica de los residuos del cacao como estrategia efectiva para mejorar la sostenibilidad productiva y la recuperación de la funcionalidad de los suelos agrícolas.

Palabras clave: *biofertilizantes, gestión ambiental, resiliencia climática, sostenibilidad agrícola, tecnologías emergentes.*

SUMMARY

The inadequate management of cocoa residues represents a constraint to agricultural sustainability and a potential source of soil contamination in productive ecosystems. Their biotechnological valorization emerges as a viable alternative to strengthen the circular economy and promote the recovery of degraded soils. This study aimed to analyze the management and valorization practices of cocoa residues in Los Ríos Province, Ecuador, assess their relationship with environmental indicators



Cita recomendada:

Cervantes-Molina, X., Barragán-Monroy, R., Ferrer-Sánchez, Y., Abasolo-Pacheco, F., & Díaz-Ponce, M. (2026). Innovación Sostenible en el Uso de Residuos del Cacao para la Biorremediación de Suelos en la Provincia de Los Ríos, Ecuador. *Terra Latinoamericana*, 44, 1-14. e2437. <https://doi.org/10.28940/terralatinoamericana.v44i.2437>

Recibido: 5 de noviembre de 2025.

Aceptado: 8 de enero de 2025.

Artículo. Volumen 44.

Abril de 2026.

Editor de Sección:

Dr. Fernando Abasolo Pacheco



Copyright: © 2026 by the authors.

Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC ND) License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

associated with the Sustainable Development Goals (SDGs 6, 12, 13, and 15), and propose a circular management model with a sustainable innovation approach. The research followed a quantitative, non-experimental, descriptive, and correlational design, applying structured surveys to 371 producers selected through stratified probabilistic sampling. Descriptive analyses, Spearman correlations, and principal component analysis were conducted. The results showed that 39% of producers reuse cocoa residues as organic fertilizer, whereas 33% dispose of them without treatment. The knowledge and sustainable innovation index was low (1.96), and the global environmental sustainability index reached a medium value (2.8). Significant negative correlations were identified between inadequate waste disposal and environmental indicators ($\rho = -0.518$ to -0.375 ; $p < 0.001$), whereas positive associations were found between knowledge and sustainable innovation and SDGs 6, 12, and 15 ($\rho = 0.316$ to 0.415 ; $p < 0.001$). Principal component analysis revealed three dimensions explaining 75.4% of the total variance: sustainable practices and resource management, technical knowledge and innovation, and environmental conservation. Overall, the findings support a circular management model based on the biotechnological valorization of cocoa residues as an effective strategy to enhance productive sustainability and restore the functionality of agricultural soils.

Index words: *biofertilizers, environmental management, climate resilience, agricultural sustainability, emerging technologies.*

INTRODUCCIÓN

La gestión sostenible de los residuos agroindustriales constituye un desafío global en el contexto del cambio climático y la pérdida de fertilidad de los suelos tropicales. En los sistemas agrícolas contemporáneos, el manejo inadecuado de subproductos orgánicos ha incrementado la presión ambiental sobre los ecosistemas, promoviendo emisiones de gases de efecto invernadero, pérdida de materia orgánica y contaminación hídrica (Duque-Acevedo *et al.*, 2022). Frente a ello, la valorización de residuos agrícolas mediante procesos biotecnológicos se presenta como una estrategia efectiva para fortalecer la economía circular y reducir la dependencia de insumos químicos, impulsando una transición hacia modelos productivos más sostenibles (Soriano-Morales, Moreno, Contieri, Rostagno y Forster, 2025).

En Ecuador, el cultivo de cacao (*Theobroma cacao L.*) desempeña un papel central en la economía agrícola, generando ingresos a miles de pequeños productores, especialmente en la provincia de Los Ríos. Sin embargo, el aprovechamiento ineficiente de los residuos del cacao principalmente cáscara, mucílago y restos de poda genera impactos negativos sobre el entorno agrícola y limita la recuperación de nutrientes en los suelos (Prastowo, Agustina y Prayogo, 2020). Estudios recientes ponen en manifiesto que estos subproductos poseen un alto potencial como materia prima para la elaboración de compost, biochar y otros bioinsumos, capaces de mejorar las propiedades fisicoquímicas del suelo y reducir la lixiviación de nutrientes (Kaba, Yamoah y Acquaye, 2021; Fidelis y Rajashekhar, 2017).

La evidencia científica ha demostrado que la aplicación de biochar y compost de residuos cacaoteros favorece la sostenibilidad del sistema agrícola. Bahrun, Fahimuddin, Safuan, Kilowasid y Singh (2018) y Ariani, Nuriday Dariah (2021) observaron que la incorporación de biochar derivado de la cáscara de cacao promueve el crecimiento vegetal y mejora la retención de agua en suelos ácidos. Asimismo, Atsin, Oulaï, N'Guetta, Kouadio y Traoré (2024) reportaron incrementos en el rendimiento agrícola y la fertilidad edáfica al aplicar compost de cáscara de cacao en plantaciones tropicales. Por su parte, Zanli, Tang y Chen (2022) y Piedrahíta-Pérez, Rodríguez, Ramírez, Rendón y Ocampo (2024) demostraron que los biocarbones activados derivados de residuos cacaoteros poseen una elevada capacidad de absorción de contaminantes emergentes y metales pesados, abriendo nuevas posibilidades para la biorremediación de suelos contaminados. Estos hallazgos coinciden con Mwafulirwa *et al.* (2024), quienes evidenciaron que los mejoradores orgánicos derivados del cacao contribuyen a reducir la lixiviación de nutrientes y las emisiones de gases de efecto invernadero.

A pesar del avance científico global, En Ecuador no existen estudios que integren de manera simultánea el aprovechamiento de residuos del cacao, los procesos de biorremediación de suelos y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) dentro de un modelo único de gestión circular. La literatura nacional se ha centrado principalmente en aspectos productivos o en la calidad del cacao, dejando un vacío importante en la comprensión

de su potencial como insumo biotecnológico para la restauración del suelo y la sostenibilidad ambiental. Este estudio busca llenar dicho vacío mediante un enfoque integrador que articula la valorización biotecnológica de los residuos del cacao con los principios de la economía circular y los ODS 6, 12, 13 y 15, constituyendo así una contribución novedosa al marco científico y de gestión ambiental del país (Rizo-Mustelier, Vuelta y Lorenzo, 2017; Mejía y Hernández, 2023).

En este contexto, el presente estudio tuvo como propósito analizar las prácticas de manejo y valorización de los residuos del cacao en la provincia de Los Ríos, evaluar su relación con los indicadores de sostenibilidad ambiental y proponer un modelo de gestión circular con enfoque de biorremediación e innovación sostenible. Los resultados contribuyen a fortalecer la comprensión científica sobre el aprovechamiento de los residuos agroindustriales como recurso estratégico para la recuperación de suelos tropicales y el cumplimiento de los compromisos globales de sostenibilidad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización

La investigación se desarrolló en la zona norte de la provincia de Los Ríos, Ecuador, específicamente en los cantones Buena Fe, Valencia, Quevedo, Mocache, Quinsaloma y Ventanas, con participación de pequeños productores de cacao (Figura 1). La recolección de datos se llevó a cabo durante la temporada de cosecha intermedia del cacao, coincidiendo con la etapa de mayor actividad agrícola en la provincia de Los Ríos. Este período permitió obtener información representativa de las prácticas productivas y de manejo de residuos en condiciones típicas del sistema cacaotero local. El área de estudio presenta un clima tropical húmedo con una temperatura media anual entre 25 y 27 °C y una precipitación superior a 2000 mm/año, condiciones que favorecen el cultivo de cacao y determinan la cantidad y tipo de residuos generados (Figura 1).

Enfoque y diseño del Estudio

El estudio se desarrolló bajo un enfoque cuantitativo, con un diseño no experimental, descriptivo y correlacional de corte transversal, orientado a analizar las relaciones entre variables sin manipular las condiciones del fenómeno. Este tipo de diseño permite describir comportamientos y establecer asociaciones entre variables en un momento determinado, facilitando el análisis de dichas relaciones en su contexto natural (Hernández-Sampieri, Fernández y Baptista, 2014).

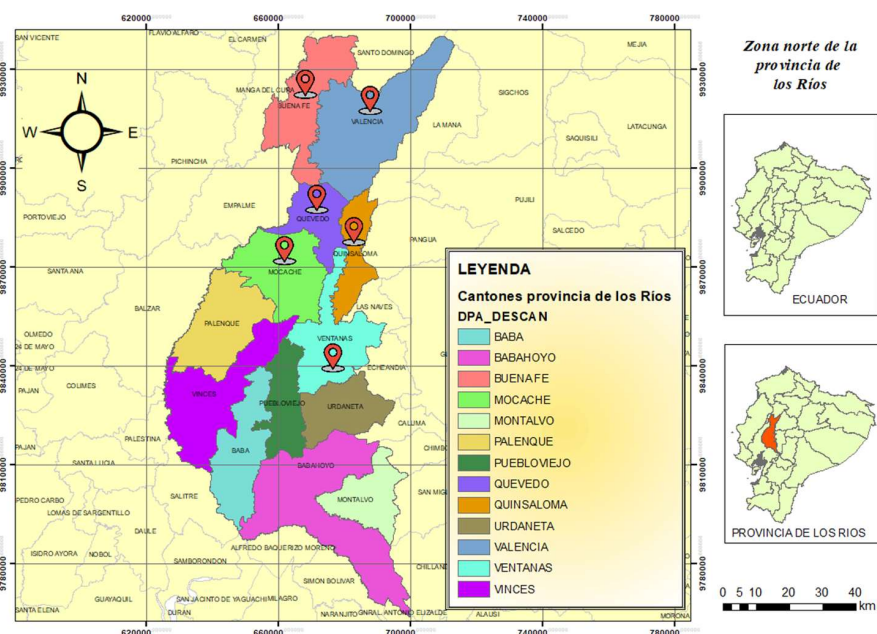


Figura 1. Localización del área de estudio en la zona norte de la provincia de Los Ríos, Ecuador.
Figure 1. Location of the study area in the northern region of Los Ríos Province, Ecuador.

Población y Tamaño de la Muestra

De acuerdo con el III Censo Nacional Agropecuario (INEC, 2021), la provincia de Los Ríos cuenta con 41 714 unidades de producción agropecuaria (UPAs), de las cuales 11 802 se concentran en la zona norte. El tamaño de la muestra se calculó mediante la fórmula para poblaciones finitas (Sucasaire-Pilco, 2022) (Ecuación 1):

$$n = \frac{NpqZ^2}{(N - 1)e^2 + pqZ^2} \quad (1)$$

Donde: n corresponde al tamaño de la muestra, N al tamaño de la población (11 802), p a la proporción (0.50), q a $1 - p$ (0.50), Z al nivel de confianza (95% = 1.96) y e al error (0.05).

A partir de la Ecuación 1 se determinó un tamaño muestral de 371 productores, correspondiente al número total de encuestas aplicadas en la zona norte de la provincia de Los Ríos. Posteriormente, con el propósito de distribuir proporcionalmente las encuestas entre los cantones que conforman esta zona, se aplicó la Ecuación 2, basada en el método de estratificación poblacional propuesto por Sucasaire-Pilco (2022), que permite asignar el número de unidades de muestreo en función del peso relativo de cada estrato territorial (Cuadro 1).

$$n_i = N_i \left(\frac{n}{N} \right) \quad (2)$$

Donde: n_i corresponde al tamaño de la muestra de cada estrato, N_i al tamaño de la población de cada estrato, n al tamaño de la muestra (371) y N al tamaño de la población (11 802).

Instrumento y Variables

El cuestionario estructurado aplicado en esta investigación estuvo conformado por 25 ítems distribuidos en tres secciones: características socio-productivas (edad, género, nivel educativo, superficie cultivada y tipo de cacao), prácticas de manejo y disposición de residuos (compostaje, elaboración de bioinsumos y eliminación a cielo abierto) y nivel de conocimiento e innovación sostenible, evaluado mediante una escala tipo Likert de cinco puntos (1 = nada; 5 = mucho). Las variables dependientes correspondieron a los indicadores de percepción ambientales vinculados a los ODS 6, 12, 13 y 15, mientras que las independientes incluyeron el nivel de conocimiento e innovación sostenible y la gestión de residuos del cacao. La validez de contenido del instrumento se estableció mediante el juicio de expertos, quienes evaluaron la claridad, pertinencia y coherencia de los ítems, siguiendo el procedimiento descrito por Gutiérrez-Martínez, Salcedo y Díaz (2024). La consistencia interna se comprobó mediante el coeficiente alfa de Cronbach, obteniéndose un valor de 0,87, lo que evidenció una confiabilidad estadística adecuada del instrumento aplicado.

Cuadro 1. Muestra estratificada de UPAs (Unidades de Producción Agropecuaria) de los cantones de la zona norte de la provincia Los Ríos.
Table 1. Stratified sample of UPAs (Agricultural Production Units) in the cantons of the northern zone of the province of Los Ríos.

Cantón	Total de UPAs	Muestra UPAs
Buena Fe	2 235	70
Valencia	3 695	115
Quevedo	566	18
Mocache	2 410	76
Quinsaloma	364	11
Ventanas	2 532	80
Total	11 802	371

Análisis Estadístico

El procesamiento y análisis de los datos se realizaron con el software IBM SPSS Statistics versión 26 (IBM Corp, 2019). Se efectuó un análisis descriptivo que incluyó medidas de frecuencia relativa para caracterizar las variables sociodemográficas, productivas y de sostenibilidad ambiental. Posteriormente, se construyeron índices compuestos a partir de ítems medidos en escala tipo Likert de cinco puntos (1 = nunca y 5 = muy frecuentemente). El nivel de conocimiento e innovación sobre prácticas sostenibles y aprovechamiento de recursos se determinó mediante el promedio de cuatro ítems relacionados con el conocimiento, la aplicación de prácticas sostenibles y la comprensión de los beneficios de la innovación. De manera complementaria, la percepción de sostenibilidad ambiental se evaluó con base en los indicadores asociados a los Objetivos de Desarrollo Sostenible: ODS 6 (uso eficiente del agua), ODS 12 (manejo adecuado de residuos agrícolas), ODS 13 (reducción de desechos como acción climática) y ODS 15 (uso apropiado de los recursos naturales). A partir del promedio de estos indicadores se obtuvo el índice global de percepción de sostenibilidad ambiental, el cual se utilizó junto con el índice de conocimiento en los análisis correlacionales y factoriales.

La construcción de los índices siguió los criterios de Maldonado-Suárez y Santoyo-Telles (2024) y la metodología de escalas compuestas descrita por Hernández-Sampieri *et al.* (2014). Según Boone y Boone (2012), el uso del promedio en escalas tipo Likert constituye una práctica estadísticamente válida para sintetizar ítems coherentes que miden un mismo constructo teórico. Para la interpretación de los resultados se dividió el rango total de la escala (1-5) en intervalos iguales de 0.8 unidades, conforme al criterio de amplitud de clase propuesto por Hernández-Sampieri *et al.* (2014), estableciendo los niveles: muy bajo (1.00-1.80), bajo (1.81-2.60), medio (2.61-3.40), medio-alto (3.41-4.20) y alto (4.21-5.00).

La relación entre el nivel de conocimiento e innovación sostenible, la disposición de residuos y los indicadores ambientales se analizó mediante el coeficiente de correlación de Spearman (ρ), técnica recomendada para variables ordinales o no normales y validada en estudios empíricos con fines de asociación (Mondragón-Barrera, 2014). Este coeficiente, cuyos valores oscilan entre -1 y 1, permitió determinar la dirección y fuerza de las asociaciones, considerando un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Los valores de ρ inferiores a este umbral se interpretaron como relaciones estadísticamente significativas, mientras que los coeficientes positivos reflejaron asociaciones directas entre una mejor gestión productiva y mayores niveles de sostenibilidad ambiental.

Finalmente, se aplicó un análisis de componentes principales (ACP) para identificar las dimensiones estructurales que explican la sostenibilidad en los sistemas cacaoteros. Esta técnica permitió reducir la dimensionalidad de los datos y agrupar las variables en factores representativos. La adecuación del modelo se verificó mediante el índice Kaiser-Meyer-Olkin ($KMO > 0.70$) y la prueba de esfericidad de Bartlett ($p < 0.001$), criterios considerados estándares para validar la pertinencia estadística del ACP (Romo-Pérez y Wilches, 2023). Los factores se extrajeron siguiendo el criterio de autovalores mayores a 1 (regla de Kaiser) y se rotaron con el método Varimax, considerando únicamente las variables con cargas factoriales iguales o superiores a 0.70.

Revisión Bibliográfica de Contraste

Se realizó una revisión sistemática de literatura correspondiente al período 2020-2025 con el propósito de contrastar los resultados obtenidos con la evidencia científica reciente sobre la valorización biotecnológica de los residuos del cacao y la biorremediación de suelos tropicales. La búsqueda se efectuó en bases de datos de alto impacto como Scopus, Web of Science, Latindex y DOAJ, priorizando artículos revisados por pares que abordaran aplicaciones de biochar, compost, carbón activado y procesos de desorción de metales pesados en el marco de la innovación sostenible. A partir de esta revisión se establecieron los fundamentos del modelo de gestión circular propuesto, estructurado sobre tres ejes: la valorización biotecnológica de los residuos del cacao como estrategia de mejora de la fertilidad y estructura de los suelos agrícolas, la gestión sostenible de recursos y residuos desde los principios de la economía circular, y la articulación del conocimiento técnico y local como base para la sostenibilidad productiva. El modelo se desarrolló bajo un enfoque metodológico mixto y descriptivo-correlacional, sustentado en los postulados de la economía circular y la bioeconomía sostenible descritos por Geissdoerfer, Savaget, Bocken y Hultink (2017), quienes plantean que la gestión circular integra la eficiencia en el uso de recursos con la regeneración de los sistemas naturales, constituyendo un marco metodológico idóneo para los procesos de transición hacia sistemas agrícolas resilientes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis de las encuestas aplicadas a 371 productores de cacao en la provincia de Los Ríos reveló una predominancia del género masculino con un 82% y un promedio de edad de 45 años, lo que indica que la fuerza productiva se encuentra aún en etapa activa, aunque con escasa participación juvenil en el agro. Este perfil coincide con lo reportado por Kaba *et al.* (2021), quienes indican que en zonas cacaoteras de África occidental también predominan agricultores adultos, lo cual puede influir en la adopción de tecnologías innovadoras si no se acompañan de asistencia técnica adecuada (Kaba *et al.*, 2021). En relación con el nivel educativo, se observó que el 68% de los encuestados posee únicamente educación básica o secundaria, lo que representa una barrera para la adopción de procesos innovadores. Estos resultados refuerzan lo señalado por Prastowo *et al.* (2020), quienes identificaron que el conocimiento técnico limitado afecta directamente la implementación de prácticas de manejo de residuos en fincas de cacao (Prastowo *et al.*, 2020).

Por otra parte, referente a la caracterización productiva se estableció que la mayoría de los agricultores cultiva un promedio de 4,3 hectáreas de cacao, principalmente de la variedad CCN-51 en un 64%, con menor presencia de cacao fino de aroma (23%) y ramilla (13%). Esta preferencia se relaciona con el rendimiento y la tolerancia de la variedad CCN-51, pero también implica una mayor generación de residuos lignocelulósicos, especialmente cáscara y mucílago, cuya disposición inadecuada ha sido identificada como un problema ambiental emergente en sistemas intensivos (Mwafulirwa *et al.*, 2024).

Una vez caracterizado el perfil de los productores, se procedió a analizar las prácticas de manejo y disposición de los residuos generados en las fincas de cacao, aspecto clave para comprender su relación con la sostenibilidad del sistema productivo. Se evidenció que el 38% de los productores aprovecha los residuos del cacao como abono orgánico mientras que el 28% los dispone a cielo abierto (Figura 2). Este patrón refleja un avance gradual hacia la adopción de prácticas agrícolas sostenibles, aunque persisten brechas técnicas y de conocimiento en el manejo de residuos agroindustriales. Investigaciones realizadas por Praveena, Suresh y Vellaichamy (2018) demostraron que el compostaje de la cáscara de cacao mejora la disponibilidad de nutrientes, la retención de humedad y la calidad del suelo además de reducir la acumulación de desechos orgánicos en los entornos agrícolas. De forma complementaria, Bahrun *et al.* (2018) evidenciaron que el uso de biochar derivado de la cáscara de cacao favorece el crecimiento de las plántulas al optimizar la estructura del suelo y su capacidad de retener agua y nutrientes. Estos hallazgos respaldan la idea de que los residuos cacaoteros pueden transformarse en recursos estratégicos para la biorremediación y recuperación de suelos en ecosistemas tropicales, representando una oportunidad concreta para fortalecer la sostenibilidad e innovación agrícola en la provincia de Los Ríos.

El análisis del nivel de conocimiento e innovación sostenible muestra un índice global de 1.96 (Cuadro 2); correspondiente a un nivel bajo lo que evidencia que los productores de cacao de la provincia de Los Ríos poseen un conocimiento incipiente sobre los principios de sostenibilidad y la innovación aplicada al aprovechamiento de

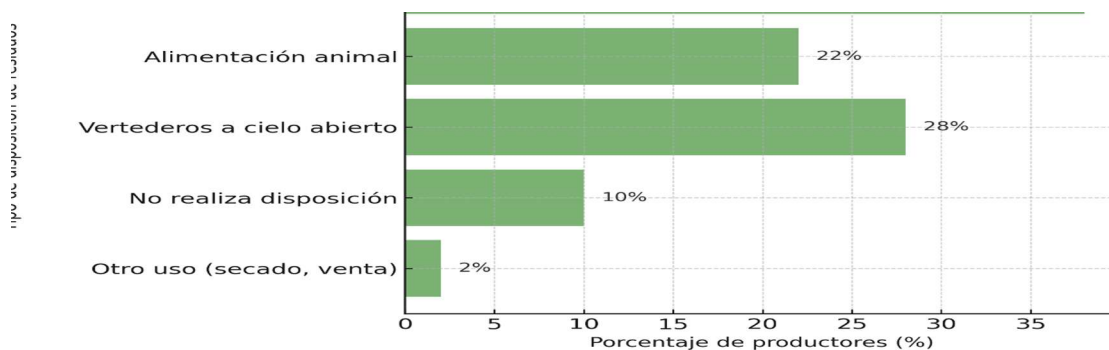


Figura 2. Prácticas de disposición de residuos del cacao en la provincia de Los Ríos, Ecuador. Los valores representan el porcentaje de productores que emplean cada tipo de disposición; las barras indican la proporción relativa de las principales prácticas registradas.

Figure 2. Waste management practices of cocoa residues in Los Ríos Province, Ecuador. The values represent the percentage of producers using each disposal method; the bars indicate the relative proportion of the main practices recorded.

Cuadro 2. Nivel de conocimiento e innovación sobre prácticas sostenibles y aprovechamiento de recursos en productores de cacao de la provincia de Los Ríos, Ecuador.**Table 2. Level of knowledge on sustainable practices and resource utilization among cocoa producers in Los Ríos Province, Ecuador.**

Variable evaluada	Frecuencia Relativa (%)					Índice promedio
	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	
Conoce qué son las prácticas sostenibles	39.40	30.50	24.00	5.70	0.50	1.98
Reconoce los beneficios de aplicar prácticas sostenibles	39.90	29.40	22.60	8.10	0.00	1.99
Conoce qué es la innovación sostenible	42.30	30.50	20.50	6.20	0.50	1.92
Reconoce los beneficios de la innovación sostenible	41.00	28.80	23.70	6.50	0.00	1.96
Índice global						1.96

los recursos agrícolas. Si bien algunos actores manifiestan familiaridad con las prácticas sostenibles, el aprendizaje formal y técnico sigue siendo limitado, lo que restringe la adopción de procesos innovadores en la producción cacaotera. Este resultado coincide con lo expuesto por Rizo *et al.* (2017), quienes señalan que el saber local constituye un punto de partida para la adopción gradual de estrategias sostenibles; sin embargo, como indica Tamagno, Iermanó y Sarandón (2018), las decisiones tecnológicas en la agricultura familiar dependen tanto del conocimiento como de las condiciones estructurales del entorno productivo. En esta línea, Mejía y Hernández (2023) destacan que la educación ambiental es un componente esencial para fortalecer la sostenibilidad rural, al propiciar la construcción de capacidades que integren la innovación con las prácticas agrícolas tradicionales.

El análisis de la sostenibilidad ambiental percibida por los productores cacaoteros evidencia un avance moderado hacia la adopción de prácticas más responsables con el entorno. En términos generales el índice global de percepción de sostenibilidad ambiental alcanzó un valor medio (2.8) lo que refleja una transición paulatina hacia modelos de producción más sostenibles (Cuadro 3). Destaca el ODS 12 Producción y consumo responsables con un promedio de 4.1 que demuestra la consolidación de prácticas vinculadas a la gestión adecuada de residuos agrícolas. En contraste, los valores más bajos en los ODS 6 (2.5), 13 (2.1) y 15 (2.6) revelan brechas en la conservación del agua, la acción climática y el uso racional de los recursos naturales. Los hallazgos coinciden con lo expuesto por Salazar-Camacho, Delgadillo, Sanchez y Tovar (2024), quienes sostienen que la valorización de los residuos mediante procesos innovadores reduce la presión ambiental del cultivo y fortalece la economía circular.

Cuadro 3. Percepción de sostenibilidad ambiental asociada a los ODS 6, 12, 13 y 15 en los sistemas productivos de cacao de la provincia de Los Ríos, Ecuador.**Table 3. Perception of environmental sustainability associated with SDGs 6, 12, 13, and 15 in cocoa production systems of Los Ríos Province, Ecuador.**

Variable evaluada	Frecuencia Relativa (%)					Índice promedio
	Nunca	Raramente	Ocasionalmente	Frecuentemente	Muy frecuentemente	
ODS 6 - Agua limpia y saneamiento	33.7	26.4	14.8	8.4	16.7	2.5
ODS 12 - Producción y consumo responsables	9.2	2.2	4.6	38.8	45.3	4.1
ODS 13 - Acción por el clima	41	27	19.9	9.7	2.4	2.1
ODS 15 - Vida de ecosistemas terrestres	29.1	18.3	29.4	11.3	11.9	2.6
Índice global de percepción de sostenibilidad ambiental (ODS 6, 12, 13 y 15)						2.8

De igual manera Rosales-Castillo, Lucio, Susana, Hernández y Álvarez (2025) enfatizan que la incorporación de bioinsumos en la producción cacaotera disminuye la dependencia de agroquímicos sintéticos favoreciendo la sostenibilidad de los sistemas agrícolas. En esta misma línea, Ouattara *et al.* (2021) destacan el potencial biotecnológico de las cáscaras de cacao para generar productos de valor agregado, lo que abre nuevas oportunidades para fortalecer la sostenibilidad y resiliencia climática del sector cacaotero en la provincia de Los Ríos.

El análisis de correlación permitió examinar la relación entre la disposición de residuos del cacao y los indicadores ambientales vinculados a los ODS. Los resultados evidencian correlaciones negativas y significativas con los ODS 6, 13 y 15, lo que indica que una mayor frecuencia de prácticas inadecuadas de disposición de residuos se asocia con menores niveles de sostenibilidad percibida en la gestión del agua, la acción climática y la conservación de los ecosistemas (Cuadro 4). Este comportamiento refuerza la idea de que el manejo ineficiente de los residuos orgánicos del cacao genera impactos directos sobre los recursos hídricos y la resiliencia ambiental al limitar la capacidad de los sistemas productivos para mantener procesos ecológicos sostenibles. En cambio, la relación con el ODS 12 fue débil y no significativa, lo que sugiere que el reconocimiento de la normativa ambiental por parte de los productores no siempre se traduce en prácticas efectivas de producción y consumo responsables. Estos hallazgos concuerdan con lo planteado por Soriano-Morales *et al.* (2025) quienes resaltan el potencial ambiental de las tecnologías verdes aplicadas al cacao como vía para reducir las presiones sobre los recursos naturales. Del mismo modo, Dutra *et al.* (2023) demuestran que el aprovechamiento energético de los residuos agrícolas puede transformar pasivos ambientales en oportunidades de sostenibilidad, mientras que Duque-Acevedo *et al.* (2022) destacan el papel de la biomasa del cacao dentro de la economía circular como alternativa viable para mitigar los efectos del cambio climático y fortalecer la sostenibilidad de los sistemas agrícolas.

Para analizar la influencia del conocimiento e innovación sostenible en la sostenibilidad ambiental, se aplicó una correlación de Spearman que permitió identificar asociaciones significativas entre ambas dimensiones. Los resultados evidenciaron asociaciones positivas y significativas particularmente con el ODS 6 ($\rho = 0.352$; $p < 0.001$), el ODS 12 ($\rho = 0.415$; $p < 0.001$) y el ODS 15 ($\rho = 0.316$; $p < 0.001$) lo que sugiere que a medida que los productores incrementan su comprensión sobre prácticas sostenibles también mejoran la gestión del agua, el uso responsable de los recursos y la conservación de los ecosistemas. Estas correlaciones de magnitud moderada, indican que el conocimiento y la innovación actúan como factores facilitadores de la sostenibilidad ambiental en los sistemas cacaoteros. En contraste la relación observada con el ODS 13 fue más débil ($\rho = 0,278$; $p < 0.001$), lo que evidencia que el conocimiento, aunque necesario no siempre se traduce en acciones efectivas frente al cambio climático probablemente por limitaciones tecnológicas y estructurales (Cuadro 5). De acuerdo con Mulugeta *et al.* (2024), la adopción de innovaciones biológicas en los sistemas agrícolas requiere no solo comprensión técnica, sino también acceso a infraestructura y asistencia técnica continua.

Cuadro 4. Correlación de Spearman entre la disposición de residuos del cacao y los indicadores ambientales (ODS 6, 12, 13 y 15) en los sistemas productivos de la provincia de Los Ríos, Ecuador.

Table 4. Spearman correlations between cocoa waste management and environmental indicators (SDGs 6, 12, 13, and 15) in cocoa production systems of Los Ríos Province, Ecuador.

Variable relacionada	ρ (Spearman)	Valor p	Interpretación
Disposición de residuos ODS 6 - Agua limpia y saneamiento	-0.518	< 0.001	Relación negativa fuerte y significativa
Disposición de residuos ODS 12 - Producción y consumo responsables	0.008	0.876	Relación positiva débil, no significativa
Disposición de residuos ODS 13 - Acción por el clima	-0.495	< 0.001	Relación negativa moderada y significativa
Disposición de residuos ODS 15 - Vida de ecosistemas terrestres	-0.375	< 0.001	Relación negativa moderada y significativa
Disposición de residuos Índice global de percepción de sostenibilidad ambiental (ODS 6, 12, 13 y 15)	-0.476	< 0.001	Relación negativa moderada y significativa

Cuadro 5. Correlaciones de Spearman entre el nivel de conocimiento e innovación sostenible y los indicadores ambientales (ODS 6, 12, 13 y 15) en los sistemas productivos de cacao de la provincia de Los Ríos, Ecuador.
Table 5. Spearman correlations between the level of knowledge and sustainable innovation and the environmental indicators (SDGs 6, 12, 13, and 15) in cocoa production systems of Los Ríos Province, Ecuador.

Variable relacionada	ρ (Spearman)	Valor p	Interpretación
Conocimiento e innovación sostenible. ODS 6 - Agua limpia y saneamiento.	0.352	< 0.001	Relación positiva moderada y significativa
Conocimiento e innovación sostenible. ODS 12 - Producción y consumo responsables.	0.415	< 0.001	Relación positiva moderada y significativa
Conocimiento e innovación sostenible. ODS 13 - Acción por el clima.	0.278	< 0.001	Relación positiva débil y significativa
Conocimiento e innovación sostenible. ODS 15 - Vida de ecosistemas terrestres.	0.316	< 0.001	Relación positiva moderada y significativa
Conocimiento e innovación sostenible. Índice global de percepción de sostenibilidad ambiental (ODS 6, 12, 13 y 15).	0.381	< 0.001	Relación positiva moderada y significativa

En la misma línea, Latruffe *et al.* (2016) sostiene que la sostenibilidad debe entenderse desde una perspectiva integral, considerando las interacciones entre los aspectos ambientales, económicos y sociales. En este contexto los resultados de la provincia de Los Ríos evidencian que fortalecer la capacitación, la transferencia tecnológica y la integración de herramientas biotecnológicas e informáticas resulta esencial para consolidar un modelo de producción de cacao ambientalmente sostenible y con mayor resiliencia ante los desafíos del cambio climático.

El análisis de componentes principales permitió identificar tres dimensiones que explican la estructura de la sostenibilidad en los sistemas cacaoteros de la provincia de Los Ríos, con una varianza total acumulada del 75.4% (Cuadro 6). La primera dimensión, prácticas sostenibles y manejo de recursos (33.4%), integra las variables relacionadas con el uso eficiente del agua, el manejo de residuos del cacao y el uso racional de los insumos.

Cuadro 6. Matriz de componentes principales rotada para la sostenibilidad en los sistemas cacaoteros de la provincia de Los Ríos, Ecuador.
Table 6. Rotated principal component matrix for sustainability in cocoa production systems in Los Ríos Province, Ecuador.

Variable	Componente 1	Componente 2	Componente 3
	Prácticas sostenibles y manejo de recursos	Conocimiento e innovación sostenible	Conservación ambiental
Uso eficiente del agua (ODS 6)	0.846	–	–
Manejo de residuos del cacao (ODS 12)	0.812	–	–
Uso racional de insumos y energía	0.777	–	–
Conoce qué son las prácticas sostenibles	–	0.834	–
Reconoce los beneficios de aplicar prácticas sostenibles	–	0.816	–
Conoce qué es la innovación sostenible	–	0.802	–
Reconoce los beneficios de la innovación sostenible	–	0.781	–
Conservación de flora y fauna (ODS 15)	–	–	0.826
Prácticas de mitigación climática (ODS 13)	–	–	0.792
Participación en programas ambientales	–	–	0.739
Varianza explicada (%)	33.4	26.2	15.8
Varianza acumulada (%)	33.4	59.6	75.4

Este componente evidencia que la sostenibilidad ambiental depende en gran medida de la capacidad de los productores para optimizar los recursos y reducir los impactos negativos en su entorno productivo. Ochoa-Noriega, Aznar, Velasco y Álvarez (2020) señalan que la gestión eficiente del agua y la energía constituye un pilar esencial para alcanzar la sostenibilidad agrícola, especialmente en zonas donde la disponibilidad hídrica limita la productividad. La segunda dimensión, conocimiento e innovación sostenible (26.2%), agrupa las variables vinculadas con el aprendizaje, la asistencia técnica y la aplicación de innovaciones en el manejo de los cultivos. Este factor coincide que la sostenibilidad productiva no se basa únicamente en los recursos materiales, sino también en el desarrollo de capacidades humanas y tecnológicas. En este sentido, Lampridi, Sørensen y Bochtis (2019) destacan que la sostenibilidad agrícola requiere un enfoque integral que combine innovación, eficiencia y conocimiento técnico, elementos que permiten adaptar los sistemas productivos a condiciones cambiantes. Por su parte, la tercera dimensión, conservación ambiental (15.8%), reúne las variables asociadas con la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la participación en programas ambientales. Este componente evidencia que la sostenibilidad del cacao no solo se sostiene en la eficiencia o la innovación, sino también en el compromiso con la preservación ecológica. Verjel y Vieira (2024) coinciden en que las prácticas agrícolas aplicadas en territorios con valor ambiental logran mayores niveles de sostenibilidad cuando se articulan con estrategias locales de gobernanza y participación comunitaria. Aunque los resultados ofrecen una aproximación sólida a la sostenibilidad del sistema cacaotero. El alcance espacial se restringe a la zona norte de la provincia de Los Ríos, lo que podría limitar la representatividad de los hallazgos para otras regiones productoras. Además, los datos se basan en percepciones de los productores, por lo que futuras investigaciones podrían complementarse con mediciones directas de variables físico-químicas del suelo y análisis longitudinales para evaluar la evolución temporal de las prácticas sostenibles.

Para contrastar los resultados locales con la evidencia internacional se revisaron estudios sobre la valorización biotecnológica de los residuos del cacao y su aplicación en la biorremediación de suelos. El conjunto de trabajos analizados respalda que los residuos del cacao se han convertido en un insumo clave dentro de las estrategias de innovación biotecnológica orientadas a la recuperación de suelos y al fortalecimiento de la sostenibilidad agrícola. Se identificó que el biochar y los compost derivados de la cáscara de cacao mejoran la estructura del suelo, reducen la acidez y favorecen la adsorción de metales pesados, especialmente cadmio, lo que permite procesos eficientes de fitorremediación y mitigación de contaminantes. Además, la incorporación de estos subproductos potencia la actividad microbiana y la retención de nutrientes, creando condiciones propicias para la recuperación de suelos degradados y la reducción de emisiones asociadas al manejo inadecuado de residuos. Estos avances validan los resultados obtenidos en la provincia de Los Ríos, donde la valorización del residuo cacaotero se presenta como una alternativa técnica viable para restaurar la funcionalidad del suelo y consolidar modelos productivos basados en la economía circular y la innovación sostenible (Cuadro 7).

Con base en lo anterior, se propone el modelo de gestión circular de residuos del cacao con enfoque de biorremediación y sostenibilidad (Figura 3). El modelo articula tres ejes: eficiencia hídrica, innovación tecnológica en manejo de residuos y conservación ambiental. La innovación actúa como eje articulador, integrando los procesos de desorción, compostaje y uso de bioinsumos con prácticas de manejo racional del recurso hídrico y restauración del suelo. La pertinencia del modelo se sustenta en la evidencia de Ochoa-Noriega *et al.* (2020), quienes destacan que la gestión eficiente del agua es un factor determinante en la sostenibilidad agrícola, pues influye en la productividad, la estructura del suelo y la capacidad de los ecosistemas para mantener su equilibrio. A su vez, los resultados experimentales de Piedrahíta *et al.* (2024) ponen en manifiesto que los residuos del cacao pueden transformarse en agentes activos de biorremediación mediante la desorción de cadmio con ácidos orgánicos, logrando una reducción superior al 95% de este metal en condiciones controladas. La integración de estas evidencias respalda la propuesta del modelo, al mostrar que la eficiencia hídrica y la valorización del residuo constituyen procesos complementarios que pueden aplicarse simultáneamente en entornos agrícolas tropicales. El modelo propuesto constituye un aporte original al campo de la sostenibilidad agrícola en Ecuador, al integrar los principios de economía circular, biorremediación de suelos y los ODS en un esquema operativo aplicable al cultivo del cacao. Su valor radica en la capacidad de vincular la innovación tecnológica con el conocimiento local, generando un sistema replicable y adaptable a otros territorios tropicales productores. Este modelo no solo promueve la eficiencia hídrica y la restauración del suelo, sino que también impulsa la participación comunitaria y la articulación institucional hacia una gestión ambiental sostenible, posicionando a la provincia de Los Ríos como referente de innovación verde en el contexto latinoamericano.

Cuadro 7. Aplicaciones biotecnológicas del residuo de cacao en procesos de innovación sostenible y biorremediación de suelos.
Table 7. Biotechnological applications of cocoa waste in sustainable innovation and soil bioremediation processes.

Nombre del artículo	Autores y año	Residuo utilizado	Innovación	Relación con la biorremediación
Biochar as a waste management strategy for cadmium in cocoa pod husk residues	Pinzon-Nuñez, Adarme, Vargas, Rodríguez (2022)	Cáscara de cacao	Uso del biochar como estrategia de gestión de residuos contaminados con metales	Inmoviliza el cadmio en el suelo, facilitando su estabilización y la aplicación de fitorremediación.
Biocarbón poroso activado y dopado con N derivado de cáscara de cacao para eliminar norfloxacino de solución acuosa	Zanli, Tang y Chen (2022)	Cáscara de cacao	Uso de dopaje con nitrógeno para eliminar antibióticos del suelo	Aumenta la adsorción de contaminantes emergentes, promoviendo descontaminación mediante retención activa.
Subproductos de cacao y café para la remediación de cadmio: Una aproximación al cultivo sostenible del cacao en suelos colombianos	Maldonado-Mateus, Cervera, Rufián, Delgado, Martín y Pastoriza (2025)	Cáscara de cacao y café	Integración de subproductos agroindustriales para remediación	Promueve la fitorremediación del cadmio mediante bioacumulación en sistemas sostenibles.
Uso de biochar y compost de cáscara de cacao para mejorar el cultivo de ají picante (<i>Capsicum frutescens</i> L.) en suelos altos ácidos.	Ariani, Nurida y Dariah (2023)	Cáscara de cacao	Aplicación en suelos ácidos para mejora agrícola	Reduce la acidez y mejora las condiciones para organismos remediadores naturales (bacterias y hongos).
Efecto de la aplicación de biochar de cáscara de cacao, fertilizante NPK, estiércol y actinomicetos en el crecimiento del cacao inmaduro (<i>Theobroma cacao</i> L.).	Sahur, Nurfaikah, Padjung y Nasaruddi (2024)	Cáscara de cacao	Formulación combinada de biofertilizantes y microorganismos	Aumenta diversidad funcional del microbioma del suelo, optimizando la degradación de residuos y metales.
Las enmiendas orgánicas del suelo derivadas de la cáscara de la mazorca de cacao afectan diferencialmente la fertilidad del suelo, la lixiviación de nutrientes y las emisiones de gases de efecto invernadero en suelos de cacao	Mwafulirwa et al. (2024)	Cáscara de cacao	Evaluación integrada de biochar y compost en suelos de cacao	Mejora la fertilidad del suelo y promueve la microbiota benéfica que facilita procesos naturales de degradación y mitigación de contaminantes.
Efecto de distintas dosis de compost de cáscara de cacao en los parámetros agronómicos de la variedad de plátano Corne 1 en Costa de Marfil	Atsin, Oulaï, N'Guetta, Kouadio y Traoré (2024)	Cáscara de cacao	Aplicación de dosis diferenciadas de compost de cacao en musáceas	Aumenta la disponibilidad de nutrientes y fomenta actividad microbiana para la degradación orgánica natural.
Remoción de cadmio de los residuos de cacao a través de procesos de desorción utilizando ácidos orgánicos	Piedrahíta-Pérez, Rodríguez, Ramírez, Rendón y Ocampo (2024)	Residuos de cacao	Desorción dirigida de cadmio con ácidos orgánicos aplicados a residuos de cacao	Reduce la toxicidad metálica en residuos antes de su integración al suelo, minimizando riesgos ambientales.
Estudio experimental sobre la carbonización de la biomasa de cáscara de cacao como ruta hacia una energía sostenible.	Ogo, Soucase y Bouich (2024)	Cáscara de cacao	Caracterización técnica del biochar como enmienda potencial	El biochar actúa como matriz porosa, atrapando contaminantes y mejorando la estructura del suelo para microorganismos degradadores.
Producción, caracterización y aplicación de carbón activado a partir de cáscara de mazorca de cacao y cáscara de plátano mediante impregnación química (ácido sulfúrico) para la enmienda del suelo.	Kuti et al. (2025)	Cáscara de cacao y plátano	Co-producción de carbón activado para retención de contaminantes	Permite alta adsorción de contaminantes y mejora la calidad fisicoquímica del suelo.
Uso de biochar obtenido de residuos de cáscara de cacao para corregir la deficiencia de potasio en los suelos agrícolas.	Gopal, Apshara, Neenu y Gupta (2025)	Cáscara de cacao	Uso de biochar derivado de cacao para suplementación de potasio	Facilita procesos enzimáticos microbianos esenciales en remediación de suelos con deficiencia de nutrientes.

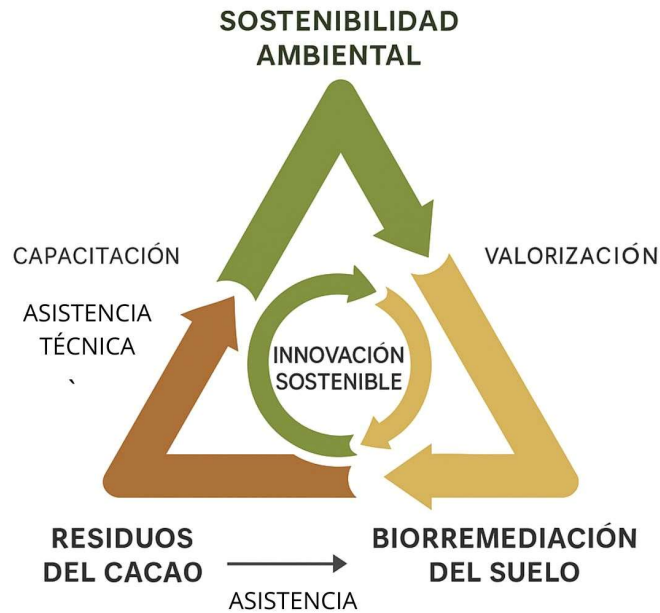


Figura 3. Modelo de gestión circular de los residuos del cacao con enfoque de biorremediación y sostenibilidad.
Figure 3. Circular management model of cocoa waste with a bioremediation and sustainability approach.

CONCLUSIONES

El estudio permitió caracterizar los sistemas cacaoteros de la provincia de Los Ríos, donde predomina una población de productores adultos y en su mayoría hombres, con limitado acceso a formación técnica. Esta condición reduce la adopción de innovaciones orientadas a la gestión ambiental del cultivo, aunque el nivel bajo de conocimiento e innovación sostenible identificado constituye un punto de partida para impulsar procesos de capacitación y transferencia tecnológica hacia prácticas agroecológicas y circulares.

Los resultados mostraron correlaciones negativas y significativas entre la disposición inadecuada de los residuos del cacao y los indicadores ambientales, lo que evidencia que una gestión deficiente aumenta la presión sobre los ecosistemas agrícolas y limita la sostenibilidad productiva. En cambio, el conocimiento y la innovación sostenible presentaron relaciones positivas con los ODS 6, 12 y 15, demostrando que el fortalecimiento de las capacidades técnicas y la educación ambiental favorecen el uso responsable del agua, la eficiencia en el manejo de recursos y la conservación del entorno natural.

El análisis de componentes principales identificó tres dimensiones estructurales de la sostenibilidad: prácticas sostenibles y manejo de recursos, innovación y conocimiento técnico, y conservación ambiental. Este enfoque evidencia que la sostenibilidad depende tanto de la eficiencia productiva como del desarrollo de capacidades humanas y del trabajo articulado entre los actores locales en torno a la gobernanza ambiental.

En el plano práctico, los resultados permiten orientar programas de capacitación y transferencia tecnológica hacia el aprovechamiento biotecnológico de los residuos del cacao, promoviendo prácticas agrícolas regenerativas que mejoren la productividad y reduzcan la degradación del suelo. Este conocimiento puede aplicarse en la elaboración de biofertilizantes y bioinsumos locales, contribuyendo a disminuir la dependencia de insumos químicos importados.

En cuanto a las implicaciones para políticas públicas, los hallazgos sugieren la necesidad de fortalecer los marcos normativos y los programas de incentivo que integren la economía circular y la bioeconomía sostenible en la cadena de valor del cacao. Este modelo puede servir como base conceptual para la formulación de estrategias de sostenibilidad rural y manejo de residuos agroindustriales en el contexto nacional.

Se sugiere que las líneas futuras de investigación profundicen en la evaluación experimental de los procesos de biorremediación mediante biochar y compost de cáscara de cacao, así como en la cuantificación de su impacto en la captura de carbono y la restauración de suelos contaminados con metales pesados. Asimismo, futuras investigaciones podrían incorporar análisis de ciclo de vida y modelación económica para validar la eficiencia del modelo propuesto en distintos contextos agroecológicos.

En conjunto, el modelo propuesto ofrece un marco potencial para la transferencia tecnológica hacia sistemas agrícolas sostenibles, al vincular el conocimiento local con la innovación biotecnológica en el manejo de residuos. Su implementación puede generar sinergias entre la productividad agrícola y la conservación ambiental en los territorios cacaoteros del Ecuador.

DECLARACIÓN DE ÉTICA

No aplicable.

CONSENTIMIENTO PARA PUBLICACIÓN

No aplicable.

DISPONIBILIDAD DE DATOS

No aplicable.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen intereses en competencia.

FINANCIACIÓN

Fondo Competitivo de Investigación Científica y Tecnológica (FOCICYT) 8va Convocatoria, a través del proyecto: "Modelo de empresa B a partir de los derivados del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en el área de Influencia a la UTEQ".

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Conceptualización, metodología, recolección de datos, redacción, revisión y edición: X.C.M., R.B.M., Y.F.S., F.A.P. y M.D.P.; administración del proyecto y recursos: X.C.M.; procesamiento y edición de datos: X.C.M. y R.B.M.; redacción del documento: X.C.M., R.B.M. y Y.F.S.; revisión final del manuscrito: X.C.M., R.B.M. y Y.F.S.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, a la Dirección de Investigación Ciencia y Tecnología.

LITERATURA CITADA

- Ariani, R., Nurida, N. L., & Dariah, A. (2021). Utilization of cacao shell biochar and compost to improve cayenne pepper (*Capsicum frutescens* L.) in acid upland. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 648(1), 012182.
- Atsin, G. J. O., Oulai, G. I., N'Guetta, A., Kouadio, D. L., & Traoré, S. (2024). Effect of different doses of cocoa shell compost on the agronomic parameters of the Corne 1 plantain variety in Côte d'Ivoire. *Journal of Animal and Plant Sciences*, 59(1), 10834-10845.
- Bahrin, A., Fahimuddin, M. Y., Safuan, L. O., Kilowasid, L. M., & Singh, R. (2018). Effects of cocoa pod husk biochar on growth of cocoa seedlings in Southeast Sulawesi-Indonesia. *Asian Journal of Crop Science*, 10(1), 22-33. <https://doi.org/10.3923/ajcs.2018.22.30>
- Boone Jr, H. N., & Boone, D. A. (2012). Analyzing likert data. *The Journal of extension*, 50(2), 48.
- Duque-Acevedo, M., Lancellotti, I., Andreola, F., Barbieri, L., Belmonte-Ureña, L. J., & Camacho-Ferre, F. (2022). Management of agricultural waste biomass as raw material for the construction sector: an analysis of sustainable and circular alternatives. *Environmental Sciences Europe*, 34(1), 70. <https://doi.org/10.1186/s12302-022-00655-7>
- Dutra, J. D. C. F., Passos, M. F., Garcia, G. J. Y., Gomes, R. F., Magalhães, T. A., dos Santos Freitas, A., ... & de Carvalho Azevedo, V. A. (2023). Anaerobic digestion using cocoa residues as substrate: systematic review and meta-analysis. *Energy for Sustainable Development*, 72, 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.esd.2022.12.007>
- Fidelis, C., & Rajashekar Rao, B. K. (2017). Enriched cocoa pod composts and their fertilizing effects on hybrid cocoa seedlings. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 6(2), 99-106. <https://doi.org/10.1007/s40093-017-0156-8>
- Geissdoerfer, M., Savaget, P., Bocken, N. M., & Hultink, E. J. (2017). The Circular Economy-A new sustainability paradigm?. *Journal of Cleaner Production*, 143, 757-768. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.12.048>
- Gopal, M., Apshara, E., Neenu, S., & Gupta, A. (2025). Cocoa pod husk wastes derived biochar for overcoming potassium deficiency in organic agriculture. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 14(2). <https://doi.org/10.57647/ijrowa-tyz5-1967>

- Gutiérrez-Martínez, R., Salcedo, A., & Díaz-Levicoy, D. (2024). Construcción y validación de un cuestionario para evaluar la comprensión del gráfico de caja. *Horizontes. Revista de Investigación en Ciencias de la Educación*, 8(33), 660-674. <https://doi.org/10.33996/revistahorizontes.v8i33.750>
- Hernández-Sampieri, R., Fernández-Collado, C., & Baptista-Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6.ª ed.). Ciudad de México, México: McGraw-Hill Interamericana Editores.
- IBM Corp. (2019). *IBM SPSS Statistics for Windows (versión 26.0)*. Armonk, NY: IBM Corp.
- INEC (Instituto Nacional de Estadística y Censos). (2021). III Censo Nacional Agropecuario. INEC. Consultado el 23 de febrero, 2024, desde <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>
- Kaba, J. S., Yamoah, F., & Acquaye, A. (2021). Towards sustainable agroforestry management: Harnessing the nutritional soil value through cocoa mix waste. *Waste Management*, 124, 264-272. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.02.021>
- Kuti, I. A., Musa, J. J., Adabembe, B. A., Adigun, F. U., Ojeje, E. A., & Gbatsoma, B. K. (2025). Production, characterisation and Application of activated carbon from cocoa pod husk and banana peel using chemical impregnation (sulphuric acid) for soil amendment. *Agricultural Engineering International: CIGR Journal*, 27(2), 1-10.
- Lampridi, M. G., Sørensen, C. G., & Bochtis, D. (2019). Agricultural sustainability: A review of concepts and methods. *Sustainability*, 11(18), 5120. <https://doi.org/10.3390/su11185120>
- Latruffe, L., Diazabakana, A., Bockstaller, C., Desjeux, Y., Finn, J., Kelly, E., ... & Uthes, S. (2016). Measurement of sustainability in agriculture: A review of indicators. *Studies in Agricultural Economics*, 118, 123-130. <https://doi.org/10.7896/j.1624>
- Maldonado-Suárez, N., & Santoyo-Telles, F. (2024). Validez de contenido por juicio de expertos: integración cuantitativa y cualitativa en la construcción de instrumentos de medición. *REIRE. Revista d'Innovació i Recerca en Educació*, 17(2), 1-19.
- Maldonado-Mateus, L. Y., Cervera-Mata, A., Rufián-Henares, J. Á., Delgado, G., Martín-García, J. M., & Pastoriza, S. (2025). Cocoa and Coffee By-Products for Cadmium Remediation: An Approach to Sustainable Cocoa Cultivation in Colombian Soils. *Sustainability*, 17(18), 8381. <https://doi.org/10.3390/su17188381>
- Mejía, A. G., & Hernández, C. E. (2023). Educación ambiental y producción agropecuaria sostenible: una estrategia para la seguridad alimentaria. *Ánfora*, 30(55), 105-141. <https://doi.org/10.30854/anf.v30.n55.2023.945>
- Mondragón-Barrera, M. A. (2014). Uso de la correlación de Spearman en un estudio de intervención en fisioterapia. *Movimiento Científico*, 8(1), 98-104.
- Mulugeta, T., Ilomo, M., Mueke, A., Onyango, C., Matsaunyane, L., Kritzinger, Q., & Alexandersson, E. (2024). Smallholder farmers' knowledge, attitudes, and practices (KAP) regarding agricultural inputs with a focus on agricultural biologicals. *Heliyon*, 10(4), 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e26719>
- Mwafulirwa, L., Sizmur, T., Daymond, A., Atuah, L., Quaye, A. K., Coole, S., ... & Hadley, P. (2024). Cocoa pod husk-derived organic soil amendments differentially affect soil fertility, nutrient leaching, and greenhouse gas emissions in cocoa soils. *Journal of Cleaner Production*, 479, 144065. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.144065>
- Ochoa-Noriega, C. A., Aznar-Sánchez, J. A., Velasco-Muñoz, J. F., & Álvarez-Bejar, A. (2020). The use of water in agriculture in Mexico and its sustainable management: A bibliometric review. *Agronomy*, 10(12), 1957. <https://doi.org/10.3390/agronomy10121957>
- Ogo, C. A., Soucase, B. M., & Bouich, A. (2025). Experimental Investigation of Cocoa Pod Biomass Carbonization: A Pathway to Sustainable Energy. *Sustainable Chemical Engineering*, 6, 159-171. <https://doi.org/10.37256/sce.6220256905>
- Ouattara, L. Y., Kouassi, E. K. A., Soro, D., Soro, Y., Yao, K. B., Adouby, K., ... & Aina, P. M. (2021). Cocoa pod husks as potential sources of renewable high-value-added products: A review of current valorizations and future prospects. *BioResources*, 16(1), 1-33.
- Prastowo, E., Agustina, L. D., & Prayogo, C. (2020). Earthworm abundance and soil characteristics following cocoa waste and manure applications. *Pelita Perkebunan*, 36(1), 47-55. <https://doi.org/10.22302/icrii.jur.pelitaperkebunan.v36i1.411>
- Praveena, C., Suresh, J., & Vellaichamy, J. (2018). *Studies on composting of cocoa (Theobroma cacao L.) pod husk*. *International Journal of Advanced Research*, 6(9), 1081-1085.
- Piedrahíta-Pérez, S., Rodríguez-Estrada, J., Ramírez-Carmona, M., Rendón-Castrillón, L., & Ocampo-López, C. (2024). Desorption of Cadmium from Cocoa Waste Using Organic Acids. *Foods*, 13(24), 4048. <https://doi.org/10.3390/foods13244048>
- Pinzon-Nuñez, D. A., Adarme-Durán, C. A., Vargas-Fiallo, L. Y., Rodríguez-Lopez, N., & Rios-Reyes, C. A. (2022). Biochar as a waste management strategy for cadmium contaminated cocoa pod husk residues. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 11(1).
- Rizo-Mustelier, M., Vuelta-Lorenzo, D. R., & Lorenzo-García, A. M. (2017). Agricultura, desarrollo sostenible, medioambiente, saber campesino y universidad. *Ciencia en su PC*, 2, 106-120.
- Romo-Pérez, C. A., & Wilches-Visbal, J. H. (2023). Análisis de componentes principales en la validación de instrumentos de calidad de vida relacionada con la salud bucal. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 52(1), 1-17.
- Rosales-Castillo, R., Lucio, V. D., Susana, B., Hernández-Domínguez, E. M., & Álvarez-Cervantes, J. (2025). Bio-inputs: An alternative to achieve sustainable agriculture. *Terra Latinoamericana*, 43, 1-15. <https://doi.org/10.28940/terra.v43i.2045>
- Sahur, A., Nurfaikah, Padjung, R., & Nasaruddin. (2024). Effect of application of cocoa shell biochar, NPK fertilizer, manure and actinomycetes on the growth of immature cocoa (*Theobroma cacao L.*). *AIP Conference Proceedings*, 2774(1), 040009.
- Salazar-Camacho, N. A., Delgadillo-Mirquez, L., Sanchez-Echeverri, L. A., & Tovar-Perilla, N. J. (2024). Evaluating Sustainable Alternatives for Cocoa Waste Utilization Using the Analytic Hierarchy Process. *Sustainability*, 16(17), 7817. <https://doi.org/10.3390/su16177817>
- Soriano-Morales, S. H. S., Moreno, J. A. J., Contieri, L. S., Rostagno, M. A., & Forster-Carneiro, T. (2025). Cocoa waste valorization: a review and sustainability analysis of green technologies. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining*, 19(6), 2680-2699. <https://doi.org/10.1002/bbb.70029>
- Sucasaire-Pilco, J. (2022). *Orientaciones para la selección y el cálculo del tamaño de la muestra en investigación*. Lima, Perú: Sucasaire Pilco, Jorge.
- Tamagno, L. N., Iermanó, M. J., & Sarandón, S. J. (2018). Los saberes y decisiones productivo-tecnológicas en la agricultura familiar pampeana: Un mecanismo de resistencia al modelo de agricultura industrial. *Mundo Agrario*, 19(42), 1-19.
- Verjel, M. C. V., & Vieira, T. A. (2024). Agriculture in protected areas of Latin America: News Website review. *Sustainability*, 16(3), 1026. <https://doi.org/10.3390/su16031026>
- Zanli, B. L. G. L., Tang, W., & Chen, J. (2022). N-doped and activated porous biochar derived from cocoa shell for removing norfloxacin from aqueous solution: Performance assessment and mechanism insight. *Environmental Research*, 214, 113951. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113951>