

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

<https://doi.org/10.35381/a.g.v6i11.4143>

Huella de carbono en residuos postcosecha de *Theobroma cacao* L. y la economía circular

Carbon footprint in post-harvest residues of *Theobroma cacao* L. and the circular economy

Daniel Cabezas-Andrade

leonardod.cabezas@epoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, El Coca,
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0001-5056-9180>

Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez

mirian.jimenez@epoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, El Coca,
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-8047-7911>

Rolando Marcel Torres-Castillo

rolando.torres@epoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, El Coca,
Ecuador

<https://orcid.org/0000-0002-0096-2897>

Juan Carlos Bustamante Cuenca

Juan.bustamante@epoch.edu.ec

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Sede Orellana, El Coca,
Ecuador

<https://orcid.org/0009-0003-7168-0787>

Recepción: 10 de marzo 2024

Revisado: 15 de mayo 2024

Aprobación: 15 de junio 2024

Publicado: 01 de julio 2024

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

RESUMEN

El propósito fue abordar la importancia de medir la huella de carbono en los residuos postcosecha de cacao en la Finca Integral Forestal de F&C en Ecuador. El estudio utilizó una metodología cuantitativa, no experimental, enfocada en la medición y descripción de la huella de carbono. Se entrevistó a un panel de expertos con la intención de proponer prácticas que promuevan la economía circular. Los resultados revelan que los residuos de cacao tienen una composición alta en calorías e hidratos de carbono, destacando el mucílago como principal generador de CO₂eq frente al exocarpo. En conclusión, los residuos de cacao generarán altos niveles de CO₂, pero esto se puede reducir con la revalorización de estos residuos debido a sus propiedades nutricionales, lo que promueve la práctica de la economía circular dentro de la granja.

Descriptor: Huella de carbono; mucílago; exocarpo; economía circular. (Tesauro AGROVOC).

ABSTRACT

The purpose was to address the importance of measuring the carbon footprint of post-harvest cocoa residues at F&C's Finca Integral Forestal in Ecuador. The study used a quantitative, non-experimental methodology focused on measuring and describing the carbon footprint. A panel of experts is held with the intention of proposing practices that promote the circular economy. The results reveal that cocoa residues have a high composition in calories and carbohydrates, highlighting the mucilage as the main generator of CO₂eq compared to the exocarp. In conclusion, cocoa residues will generate high levels of CO₂, but this can be reduced with the revaluation of these residues due to their nutritional properties, which pro-moves the practice of circular economy within the farm.

Descriptors: Carbon footprint; mucilage; exocarp; circular economy. (Tesauro AGROVOC).

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

INTRODUCCIÓN

La relevancia del intercambio global de materias primas, como el cacao en su estado natural, es significativa, dado que la fabricación y el comercio de estos elementos son esenciales para la economía de la mayoría de las naciones en desarrollo (Abukari, 2020; Olukunle, 2020). A pesar de la atención dada a la venta extensiva de estas materias primas, se descuida la consideración de los subproductos generados durante las etapas posteriores a la cosecha (Vega y Gutiérrez, 2024).

La actividad agrícola genera una gran cantidad de residuos, equivalente a la mitad del peso de la cosecha total, lo que representa un problema significativo para la gestión y el impacto ambiental (Mendoza Meneses et al., 2021). En el caso particular del cacao, durante el procesamiento se generan diversos residuos como el exosperma, la placenta y el mucílago, que representan entre el 52% y el 70% del peso total de la fruta, por lo que su manejo inadecuado puede tener consecuencias negativas para el medio ambiente (Martínez Ángel et al., 2015; Soares y Oliveira, 2022). A pesar de ello, la generación de estos desechos no solo puede ser un factor de riesgo para la propagación de enfermedades en los cultivos y para la modificación del pH del suelo, sino que también tiene un impacto considerable en el fenómeno del cambio climático (Ortiz Valbuena & Álvarez León, 2015).

Las emisiones de dióxido de carbono y sus diversas fuentes, como la agricultura, la gestión de residuos y el consumo de energía, son responsables fundamentales del calentamiento global (Al-Dailami, 2022; Kogan, 2022). La Huella de Carbono (HC) proporciona una medida de los gases de efecto invernadero en CO₂ equivalente a resultantes de actividades de producción o consumo (Bautista et al., 2022). Al ofrecer una visión clara, la HC facilita la adopción de un modelo económico sostenible y la implementación de mejoras internas para reducir o compensar las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

El cultivo de cacao es una actividad económica fundamental en Ecuador (Acosta et al., 2018), especialmente en la provincia de Orellana, donde se destina una superficie considerable de 20,355 hectáreas para la producción de 4052 toneladas de cacao (Viteri, 2014). En el cantón Loreto, esta actividad es de gran importancia, ocupando el tercer lugar en términos de producción, con un 18.81% en varias parroquias rurales, incluida la comunidad de La Paz, que es el área de estudio. Por lo tanto, ante la falta de información en la Finca Integral Forestal F&C, dedicada al cultivo de cacao y producción de chocolate artesanal, es necesario estimar la cantidad de residuos generados en el proceso postcosecha.

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar la huella de carbono asociada a la generación de residuos en la postcosecha del cacao, en la Finca Integral Forestal F&C. Para ello, se realizará la cuantificación y caracterización de los residuos, así como la aplicación del método basado en factores de emisión por residuo generado. Adicionalmente, se propondrá una estrategia para reducir la huella de carbono del establecimiento mediante la aplicación de los principios de la economía circular.

MÉTODO

El estudio se llevó a cabo en la finca integral F&C de la comunidad La Paz, situada en el sureste del cantón Loreto, en la provincia de Orellana, en la región amazónica ecuatoriana. Esta área geográfica se encuentra entre las coordenadas UTM 18S 239252,30 9913564,00 y se distingue por su variada topografía, con una altitud de 320 metros sobre el nivel del mar, una geología de origen volcánico, una temperatura media anual que oscila entre 16 y 25°C, un clima tropical cálido, húmedo y lluvioso y una humedad relativa del 80%.

Se realizó una entrevista con el Agrónomo Franco Noriega, dueño de la finca integral forestal F&C, con el propósito de obtener información detallada sobre las actividades llevadas a cabo durante el proceso de postcosecha. El objetivo principal fue recopilar

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

datos precisos que faciliten la creación de un mapa de procesos que describa minuciosamente las entradas y salidas de cada actividad en sus diferentes etapas.

Además, se emplearon programas informáticos como QGIS y Google Earth Pro, los cuales son herramientas de sistemas de información geográfica que posibilitan la creación, análisis y visualización de datos espaciales. Mediante el uso de estas aplicaciones, se generó un mapa detallado de la región de estudio que mostró sus atributos físicos, como la extensión total y las áreas de siembra, proporcionando así una base para el desarrollo del área de investigación.

A continuación, para medir la cantidad de mucílago, se recogieron los granos de cacao en un recipiente después de abrir la mazorca para pesarlos inicialmente. Después de pesar los granos frescos, se dispersaron en una cesta de plástico cubierta con un costal de yute, que funcionó como un filtro dentro de un contenedor para facilitar la recolección del mucílago en los recipientes designados para los análisis posteriores (Figura 1).



Figura 1. Filtración de mucílago con saco de yute

Elaboración: Los autores.

Seguidamente, para la extracción de exosperma del cacao; el procedimiento se inició con el tueste de los granos de cacao secos, con el fin de separar la cáscara del grano y cualquier contaminante de la parte comestible más densa. Finalmente, se colocaron en una bolsa sellada para su posterior análisis correspondiente (Figura 2).

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca



Figura 2. Recolección cascarilla de cacao

Elaboración: Los autores.

Para la cuantificación de residuos postcosecha del *Theobroma cacao L*, se siguió el siguiente procedimiento:

- Recolección de 1500 gramos de muestra de cacao.
- Realización de un análisis bromatológico del exosperma de cacao, verificando parámetros como: humedad, ceniza o materia orgánica, extracto etéreo o grasas, proteínas, nitrógeno total, fibra cruda y elementos libres de nitrógeno.
- Análisis bromatológico del mucílago del cacao utilizando 100 ml de muestra por cada 100 gramos de muestra conocida, considerando parámetros como sólidos totales, fibra bruta, grasas, proteínas, cenizas, carbohidratos y calorías.

Por último, se determinó la huella de carbono considerando el factor de emisión generada por los residuos postcosecha como la cascarilla de cacao y mucílago, para después efectuar el cálculo de la huella de carbono aplicando la metodología de estimación de emisión de CO₂eq, tomando en cuenta el producto que resulta de la multiplicación entre; el número total de hectáreas, la cantidad total de los residuos y factor de emisión que es un coeficiente establecido para cada uno.

Para la obtención de los datos estadísticos representativos de las muestras de cacao se utilizaron tres tipos de ecuaciones, la primera para determinar el cálculo de exosperma por hectárea usando la ecuación:

$$PT_{Exo/ha} = \frac{(PT_{GCS/ha}) \times (Pm_{exo})}{Pm_{GCS}} \quad [1]$$

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

La segunda para calcular el mucílago de cacao se aplicó la ecuación:

$$PT_{m_{cg}/ha} = \frac{(PT_{GCF/ha}) \times (Vm_{m_{cg}})}{Pm_{GCF}} \quad [2]$$

y la tercera se usó para determinar el cálculo de la huella de carbono de la Finca Integral Forestal F&C con la ecuación

$$GEI_r(kgCO_2eq) = (PT_{r/ha} \times FE_P) \times 5 \text{ ha} \quad [3]$$

Para estimar las emisiones de carbono producidas por la finca integral F&C en la comunidad de La Paz, se analizan las operaciones que resultan en la liberación de CO₂, conforme a las directrices del Alcance 1 (Figura 3).

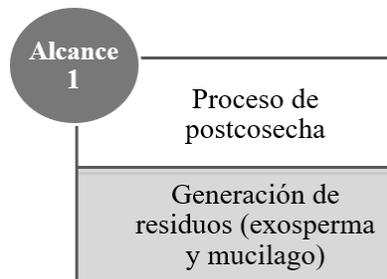


Figura 3. Alcance de la Finca Integral F&C

Elaboración: Los autores.

Alcance 1 (emisiones directas): Los desechos producidos después de la cosecha en la Finca Integral F&C consisten en el exosperma y mucílago de *Theobroma cacao L.*

Por último, se muestra el factor de emisión asociado a los residuos postcosecha, donde se empleó 1,43 kgCO₂eq para la cáscara de cacao y 5,6 LCO₂eq para el mucílago del cacao (Castillo Cárdenas y Huilca Cordova, 2020).

RESULTADOS

A pesar de que la finca integral forestal F&C comenzó sus actividades en 2005 con solo dos hectáreas destinadas al cultivo de cacao, la plantación se ha expandido a 6 hectáreas distribuidas en varios lotes. En los lotes 1, 2 y 3 se cultiva la variedad CCN51, en el lote

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

4 se encuentra una variedad Nacional, y en el lote 5 se ha plantado la variedad Super Árbol a principios de 2024.

El método de cultivo utilizado en la finca es escalonado, con una separación de 4x4 metros entre plantas y una disposición de siembra en cuatro direcciones. La cosecha se recolecta cada 15 días siguiendo el proceso de Buenas Prácticas Agrícolas (BPA). Respecto a los residuos generados durante la postcosecha, la cáscara se utiliza como fertilizante, mientras que el mucílago se descarta directamente en el suelo, lo que afecta su pH.

Mapa de procesos postcosecha

Para la etapa de proceso postcosecha en la finca integral forestal F&C y la obtención de grano de chocolate e identificación de residuos generados se realizó el diagrama de flujo identificado en la figura 4 donde se describe el proceso que se lleva a cabo.

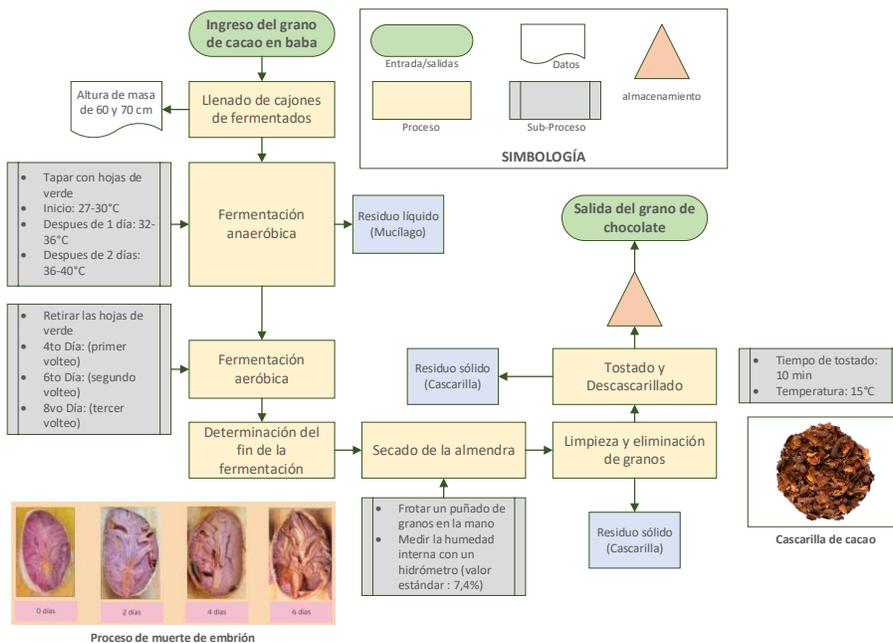


Figura 4. Proceso de postcosecha de cacao (*Theobroma cacao L.*)

Elaboración: Los autores.

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

Cantidad de exosperma por hectárea (kg/ha)

Basado en el proceso postcosecha de cacao se logró obtener la cantidad de residuos de exosperma basado en la Tabla 2 donde se obtuvo 252 kg/ha del peso total de exocarpio y la cantidad de mucílago según la Tabla 3 se obtuvo 930 L/ha del peso total por hectárea.

Tabla 2.

Valores para el cálculo de exosperma.

Residuo	Parámetro	Cantidad	Unidad
Exosperma de cacao	Peso Total Grano de Cacao Seco	2800	Kilogramo/Hectárea
	Peso de la muestra del Grano de cacao seco	1000	kilogramos
	Peso de exosperma del Grano de cacao seco	90	Kilogramos

Elaboración: Los autores.

$$PT_{Exo/ha} = \frac{(PT_{GCS/ha}) \times (Pm_{exo})}{Pm_{GCS}}$$

$$PT_{Exo/ha} = \frac{(2800 \text{ kg/ha}) \times (90 \text{ kg})}{1000 \text{ kg}}$$

$$PT_{Exo/ha} = \frac{252\,000 \text{ kg}^2/\text{ha}}{1000 \text{ kg}} = 252 \text{ kg/ha}$$

Tabla 3.

Valores para el cálculo de mucílago.

Residuo	Parámetro	Cantidad	Unidad
Mucílago de cacao	Peso Total Grano de Cacao fresco	3790	Kilogramo/Hectárea
	Peso de la muestra del Grano de cacao fresco	53	kilogramos
	Peso de exosperma del Grano de cacao fresco	13	Litros

Elaboración: Los autores.

$$PT_{mcg/ha} = \frac{(PT_{GCF/ha}) \times (Vm_{mcg})}{Pm_{GCF}}$$

$$PT_{mcg/ha} = \frac{13 \text{ L} \times 3790 \text{ kg/ha}}{53 \text{ kg}}$$

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

$$PT_{mcg/ha} = \frac{49270 (L) (kg/ha)}{53 kg} = 930 L/ha$$

Análisis bromatológico

Según el análisis bromatológico del exosperma realizado en los dos residuos de *Theobroma cacao* L. se reportaron los parámetros descritos en la Tabla 4, donde muestran que el exosperma es rico en elementos libres de nitrógeno (ELN) con un 50,153 %, bajo en grasas y con un contenido regular de proteínas, destacando su fibra cruda. Mientras en el mucílago presenta una alta capacidad calorífica y un 18,67 % de carbohidratos, siendo una fuente significativa de energía para el organismo.

Tabla 4.
Resultados obtenidos del análisis bromatológicos.

Residuo	Análisis	Resultado	Unidad
Exosperma	Humedad	5,736	%
	Ceniza o materia orgánica	11,097	%
	Extracto Etéreo o Grasas	4,114	%
	Proteínas o nitrógeno Total	18,199	%
	Fibra Cruda	16,437	%
	Elementos libres de nitrógeno	50,153	%
Mucílago	Sólidos totales	19,41	%
	Fibra bruta	0,00	%
	Grasa	0,04	%
	Proteína	0,42	(F:6.25) %
	Ceniza	0,28	%
	Carbohidratos	18,67	%
	Calorías	76,72	kcal/100g

Elaboración: Los autores.

Determinación de la huella de carbono de la Finca Integral Forestal F&C

Para la determinación de huella de carbono se consideraron los valores de la Tabla 5 calculando la emisión total del exosperma (tCO₂) dando como resultado 1,8 tCO₂eq de

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

emisión de efecto invernadero por residuos y también se tomaron los valores de la Tabla 6 emisión total del mucílago (tCO_2) dando como resultado $26.04 tCO_2eq$ de emisión de efecto invernadero por residuos.

Tabla 5.
Valores para el cálculo de mucílago.

Residuo	Parámetro	Cantidad	Unidad
Exosperma de cacao	Factor de emisión	1,43	$KgCO_2eq$
	Peso por hectárea	252	Kilogramos/hectárea

Elaboración: Los autores.

$$GEI_{exo} = (PT_{exo/ha} \times FE_P) \times 5 \text{ ha}$$

$$GEI_{exo} = (252 \text{ kg/ha} \times 1,43 \text{ kgCO}_2eq) \times 5 \text{ ha}$$

$$GEI_{exo} = 1801,8 \text{ kgCO}_2eq \div 1000 = 1,8 \text{ tCO}_2eq$$

Tabla 6.
Valores para el cálculo de mucílago.

Residuo	Parámetro	Cantidad	Unidad
Exosperma de cacao	Factor de emisión	5,6	LCO_2eq
	Volumen por hectárea	930	Litros/hectárea

Elaboración: Los autores.

$$GEI_{mcg} = (PT_{mcg/ha} \times FE_P) \times 5 \text{ ha}$$

$$GEI_{mcg} = (930 \text{ L/ha} \times 5,6 \text{ kgCO}_2eq) \times 5$$

$$GEI_{mcg} = 26040 \text{ LCO}_2eq \div 1000 = 26.04 \text{ tCO}_2eq$$

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

Comparación de emisión de CO₂ por residuo postcosecha de cacao

Con base en los cálculos de emisión de huella de carbono se pudo determinar que los residuos generados por el mucílago de cacao postcosecha es mayor al generado por el exosperma (Figura 5).

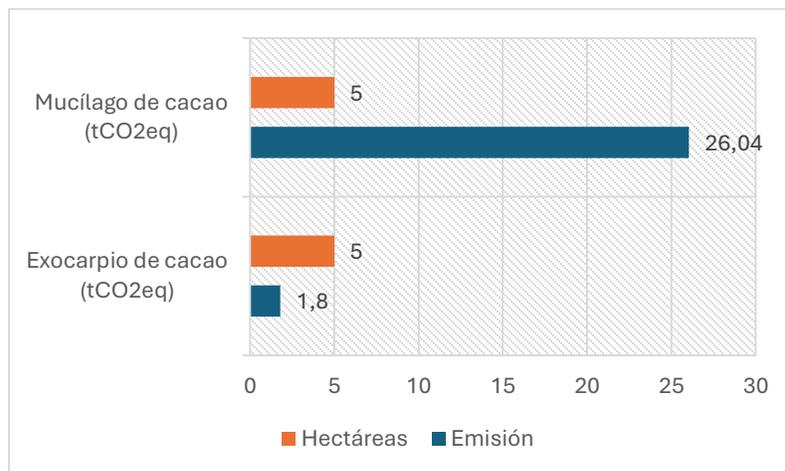


Figura 5. CO₂ emitido por residuo generado

Elaboración: Los autores.

DISCUSIÓN

Los residuos generados por el mucílago del cacao en etapa de postcosecha generan una huella de carbono del 26,04 tCO₂eq mayor al exosperma con 1.8 tCO₂eq ambas en una muestra representativa de cinco hectáreas, lo que quiere decir que estos residuos podrían ser reutilizados para minimizar la fijación de carbono en el suelo.

Al respecto, Marín et al., (2016) estimaron la fijación de carbono en biomasa total en sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia. El estudio forma parte de los sistemas agroforestales (SAF) que tienen especies maderables y frutales y presentaron la mayor biomasa total (122,0 y 72,5t/ha) y la mayor tasa de fijación de carbono (17,7t/ha/año).

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

Por otro lado, Armas y Gualotuña (2023) indican que, aunque se ha fijado un promedio 37,32 toneladas de CO₂eq/ha/año para la huella de carbono en cultivo y producción de cacao (*Theobroma cacao* L.) cuantificando emisiones de dióxido de carbono (CO₂) y su tasa de fijación en la finca Santa Cruz en Puerto Quito-Ecuador; se ha excedido su emisión con 62,08 tCO₂eq en árboles maderables, 37,66 tCO₂eq en árboles frutales y en monocultivos un total de 12,23 tCO₂eq al año. Por lo cual es necesario implementar propuestas de acción de mejora en la economía circular y reducción de la huella de carbono en el proceso de postcosecha para reducir el impacto que dejan los residuos de cacao generados en el proceso.

La gestión de los residuos derivados del mucílago del cacao durante la postcosecha puede tener un impacto significativo en la huella de carbono, especialmente considerando que el mucílago contribuye con una cantidad considerablemente mayor de emisiones en comparación con el exosperma. Esto indica una oportunidad para reutilizar estos residuos y así reducir la fijación de carbono en el suelo. Además, investigaciones anteriores resaltan la importancia de los sistemas agroforestales (SAF), particularmente aquellos que integran cultivos cítricos y aguacate, en la captura de dióxido de carbono, mientras que los monocultivos y los sistemas con especies maderables muestran una menor capacidad de captura (Benitez Molina, 2022).

Es evidente la necesidad de implementar medidas para mejorar la economía circular y reducir la huella de carbono en el proceso de postcosecha del cacao, especialmente ante las emisiones excesivas observadas en ciertas prácticas de producción. Esto subraya la importancia de adoptar enfoques más sostenibles en la producción de cacao para mitigar su impacto ambiental.

CONCLUSIONES

En los últimos 17 años en la finca integral forestal F&C se ha llevado a cabo el cultivo del cacao (*Theobroma cacao* L.) en una parcela de seis hectáreas, pero solo cinco

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

actualmente se encuentran en producción dejando una hectárea sin frutos. Entre los resultados más relevantes de la producción podemos revelar que se produce 225 kg por hectárea de exosperma, mientras la producción de mucílago alcanza los 930 litros por hectárea, evidenciando de esta manera que existe mayor cantidad de este último residuo a comparación con el exosperma. Entre los análisis bromatológicos se evidencia que el exosperma es rico en elemento libres de nitrógenos (ELN) con un 50 %, además este es bajo en grasas y posee un contenido regular de proteínas, destacando su fibra cruda. Por otro lado, el residuo del mucílago presenta mayor capacidad calórica y posee un 19 % de carbohidratos siendo así una fuente significativa de energía para el organismo.

Cabe destacar que se observa que el mucílago de cacao emite considerablemente más dióxido de carbono equivalente (tCO_2eq) que el exosperma, lo que ocasiona que sea mayor su impacto ambiental en términos de emisiones de gases de efecto invernadero. Al analizar los factores internos y externos que influyen en la finca, se identifican fortalezas como la revalorización de la materia orgánica y oportunidades como el apoyo gubernamental para la sostenibilidad, pero también se señalan debilidades como la fermentación incompleta y amenazas como la competencia en el mercado industrial y las altas precipitaciones.

FINANCIAMIENTO

No monetario.

AGRADECIMIENTO

A los propietarios y trabajadores de la empresa Indutecse Cia. Ltda, Ecuador.

REFERENCIAS CONSULTADAS

Abukari, A., & Cunfeng, T. (2021). The Export Competitiveness of Ghana's Cocoa Industry in West Africa. *Journal of Agricultural Science*, 13(3), 80. <https://doi.org/10.5539/JAS.V13N3P80>

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

- Acosta, N., De Vrieze, J., Sandoval, V., Sinche, D., Wierinck, I., & Rabaey, K. (2018). Cocoa residues as viable biomass for renewable energy production through anaerobic digestion. *Bioresource Technology*, 265, 568-572. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.05.100>
- Al-Dailami, A., Ahmad, I., Abdullah, N., Koji, I., & Yuzir, A. (2022). Feasibility and viability of procuring biohydrogen from microalgae: An emerging and sustainable energy resource technology. *Journal of Physics: Conference Series*, 2259(1), 012014. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2259/1/012014>
- Armas, J., & Gualotuña, J. (2023). Estrategias para la reducción de la huella de carbono en el ciclo de producción de cacao (theobroma cacao) en la finca Santa Cruz, en puerto Quito [Strategies for the reduction of the carbon footprint in the production cycle of cocoa (theobroma cacao) at the Santa Cruz farm in Puerto Quito]. (Trabajo de Grado). Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Politécnica Salesiana, Quito, Ecuador. <https://n9.cl/mp36u>
- Bautista, J., Sierra, Y., & Bermeo, J. F. (2022). Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en las Instituciones de Educación Superior [Greenhouse Gas Emissions in Higher Education Institutions]. *Producción+ Limpia*, 17(1), 169-186. <https://doi.org/10.22507/pml.v17n1a10>
- Benitez Molina, G. (2022). Iniciativa para fortalecer el desarrollo forestal sustentable y mitigar el cambio climático en México [Initiative to strengthen sustainable forestry development and mitigate climate change in Mexico]. *Quivera Revista De Estudios Territoriales*, 24(2), 169-177. <https://doi.org/10.36677/qret.v24i2.19556>
- Castillo Cárdenas, I., & Huilca Cordova, L. A. (2020). Producción de bioetanol a partir de la baba de cacao (theobroma cacao) y agua de coco (cocos nuciferas) con fines de mitigación ambiental [Bioethanol production from cocoa slime (theobroma cacao) and coconut water (cocos nucifera) for environmental mitigation purposes]. (Trabajo de grado). Carrera de Ingeniería Ambiental, Universidad Peruana Unión, Tarapoto, Perú. <https://n9.cl/s6u9m>
- Kogan, F. (2022). Causes of Climate Warming. In: *Remote Sensing Land Surface Changes*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-96810-6_6

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

- Marín, M., Andrade, H. J., & Sandoval, A. P. (2016). Fijación de carbono atmosférico en la biomasa total de sistemas de producción de cacao en el departamento del Tolima, Colombia [Atmospheric carbon sequestration in the total biomass of cocoa production systems in the department of Tolima, Colombia]. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 19(2), 351-360. <https://n9.cl/pgquy>
- Martínez Ángel, J. D., Villamizar Gallardo, R. A., & Ortíz Rodríguez, O. O. (2015). Characterization and evaluation of cocoa (*Theobroma cacao* L.) pod husk as a renewable energy source. *Agrociencia*, 49(3), 329-345. <https://n9.cl/qn8rw>
- Mendoza Meneses, C. J., Feregrino Pérez, A. A., & Gutiérrez Antonio, C. (2021). Potential Use of Industrial Cocoa Waste in Biofuel Production. In *Journal of Chemistry Journal of Chemistry*, 2021, 3388067. <https://doi.org/10.1155/2021/3388067>
- Olukunle, O. T. (2020). Competitiveness of Nigerian cocoa exports in the global market. *Journal of Sustainable Development in Africa*, 22(3). <https://n9.cl/q7tw6>
- Ortiz Valbuena, K. L., & Álvarez León, R. (2015). Efecto del vertimiento de subproductos del beneficio de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre algunas propiedades químicas y biológicas en los suelos de una finca cacaotera, municipio de Yaguará (Huila, Colombia) [Effect of the dumping of cocoa (*Theobroma cacao* L.) processing by-products on some chemical and biological properties in the soils of a cocoa farm, municipality of Yaguará (Huila, Colombia)]. *Boletín Científico Del Centro de Museos*, 19(1), 65–84. <https://doi.org/10.17151/bccm.2015.19.1.5>
- Soares, T. F., y Oliveira, B. P. P. (2022). Cocoa By-Products: Characterization of Bioactive Compounds and Beneficial Health Effects. *Molecules*, 27, 1625. <https://doi.org/10.3390/molecules27051625>
- Vega, N., & Gutiérrez, N. S. (2024). Evaluación antioxidante de compuestos fenólicos obtenidos en la fermentación de residuos en la poscosecha de *Theobroma cacao* [Evaluation of phenolic compounds obtained from post-harvest fermentation of residues of *Theobroma cacao* L.]. *Nova*, 22(42). <https://doi.org/10.22490/24629448.8183>
- Viteri, O. (2014). Evaluación de la sostenibilidad de los cultivos de café y cacao en las provincias de Orellana y Sucumbíos-Ecuador [Evaluation of the sustainability of coffee and cocoa crops in the provinces of Orellana and Sucumbíos-Ecuador]. (Tesis Doctoral). Institut de Ciència i Tecnologia Ambientals, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, España. <https://n9.cl/mp7wj>

Daniel Cabezas-Andrade; Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez; Rolando Marcel Torres-Castillo; Juan Carlos Bustamante Cuenca

©2024 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).