

Potencial de los residuos de cascarilla de cacao para la industria papelerá

Pablo Danilo Carrera-Oscullo¹

Mirian Yolanda Jiménez-Gutiérrez^{1,§}

Marcos Patricio Barahona-Morales¹

Daniel David Espinoza-Castillo¹

Luis Maximiliano Moreno-Palacios²

Juan Andrés Ramos-Capuz²

1 Grupo de investigación Escuela Superior Politécnica de Chimborazo sede Orellana, Grupo de Investigadores CAUSANA YACHAY, EC220202, El Coca, Ecuador. (pablod.carrera@esepoch.edu.ec; marcos.barahonam@esepoch.edu.ec).

2 Investigadores independientes. (palacios20002017@hotmail.com; andresithoramos181915@gmail.com).

Autor para correspondencia: mirian.jimenez@esepoch.edu.ec.

Resumen

El estudio evaluó el contenido lignina y celulosa en los residuos de tres variedades de cacao cultivadas en el cantón Francisco de Orellana (Ecuador); Nacional, CCN-51 y Super Árbol a fin de explorar su potencial como insumo para la producción de papel Kraft. La recolección se realizó en fincas de la asociación Asopriabet y los análisis químicos fueron desarrollados en el Instituto Nacional e Investigaciones Agropecuarias, aplicando metodologías estandarizadas (TAPPI T-222 y Kurschner-Hoffer). Los resultados mostraron que CCN-51 presentó el mayor contenido de lignina (45.13%), mientras que Nacional evidenció el mayor porcentaje de celulosa (28.57%). No obstante, las diferencias entre variedades no fueron estadísticamente significativas. Se concluyó que, a pesar de ello, se respalda el potencial de estos residuos como materia prima alternativa, sugiriendo estudios complementarios que incluyan variabilidad del cultivo, caracterización física de la pulpa y pruebas piloto de producción para validar su aplicabilidad industrial.

Palabras claves:

agroindustria, biomasa, cultivos, subproductos.



Introducción

El aprovechamiento de los subproductos agrícolas ha adquirido una gran relevancia en la búsqueda de soluciones sostenibles para diversas industrias, incluyendo la fabricación de papel (Dey *et al.*, 2021; Gómez-García *et al.*, 2021). Entre estos subproductos, los residuos de cacao se destacan como una fuente potencial de celulosa, componente de gran interés para la industria papelera debido a su capacidad para formar fibras resistentes y cohesivas. Aunque estos residuos también contienen lignina, esta suele eliminarse durante el proceso de pulpeo, ya que su presencia afecta negativamente la blancura, durabilidad y calidad de papel (Gutiérrez-Macías *et al.*, 2021; Jakob *et al.*, 2022). No obstante, algunos autores mencionan que para determinar el verdadero potencial de residuo agrícola en la producción de papel Kraft, es necesario considerar otros parámetros además del contenido de celulosa y lignina, tales como la longitud y resistencia de las fibras, presencia de cenizas, rendimiento de pulpa y el índice de Kappa, que indica el grado de lignificación residual (Megra *et al.*, 2022; Hailemariam y Woldeyes, 2024).

Investigaciones previas han explorado la utilización de residuos agrícolas para la fabricación de papel, enfocándose en cultivos como el maíz, bagazo de caña y otros subproductos ricos en fibra vegetal (De Corato *et al.*, 2018; Koul *et al.*, 2022; Siqueira *et al.*, 2022; Enawgaw *et al.*, 2023; Plakantonaki *et al.*, 2023). Sin embargo, pocos estudios han investigado el potencial de los residuos de cacao, a pesar de su disponibilidad en países productores como Ecuador. Cabezas-Andrade *et al.* (2024) ha documentado que basado en el proceso de postcosecha de cacao se logró obtener la cantidad de residuos de exosperma alrededor de 252 kg ha⁻¹ del peso total de exocarpio y la cantidad de mucílago alrededor de 930 L ha⁻¹ del peso total.

Algunos trabajos recientes han comenzado a evaluar las características químicas y morfológicas de residuos como la cáscara de mazorca de cacao y el tallo de maíz, destacando su contenido de celulosa hemicelulosa, lignina y cenizas. Por ejemplo, se ha encontrado que el tallo del maíz presenta un contenido superior de celulosa (39%) y hemicelulosa (42%), así como un porcentaje menor de lignina (7.38%) en comparación con la cáscara de cacao (Daud *et al.*, 2014). En particular, el análisis de las propiedades químicas de las distintas variedades de cacao, como Nacional, CCN-51 y Super Árbol, en relación con su potencial industrial, sigue siendo limitado (García-Briones *et al.*, 2021; Viteri, 2022; Cevallos, 2024).

El cacao en Ecuador, como uno de los mayores productores de a nivel mundial (Saravia-Matus *et al.*, 2020; Villacis *et al.*, 2022) se generan grandes volúmenes de subproductos que, en muchos casos, no son utilizados adecuadamente, generando un impacto ambiental significativo (Ramos-Ramos *et al.*, 2020). El objetivo principal de este estudio fue evaluar los contenidos de lignina y celulosa, en la cascarilla de cacao en tres variedades; Nacional, CCN-51 y Super Árbol, como materia prima alternativa para papel Kraft. Este análisis busca proporcionar información clave para el desarrollo de prácticas industriales más sostenibles y eficientes en el manejo de subproductos agrícolas.

Materiales y métodos

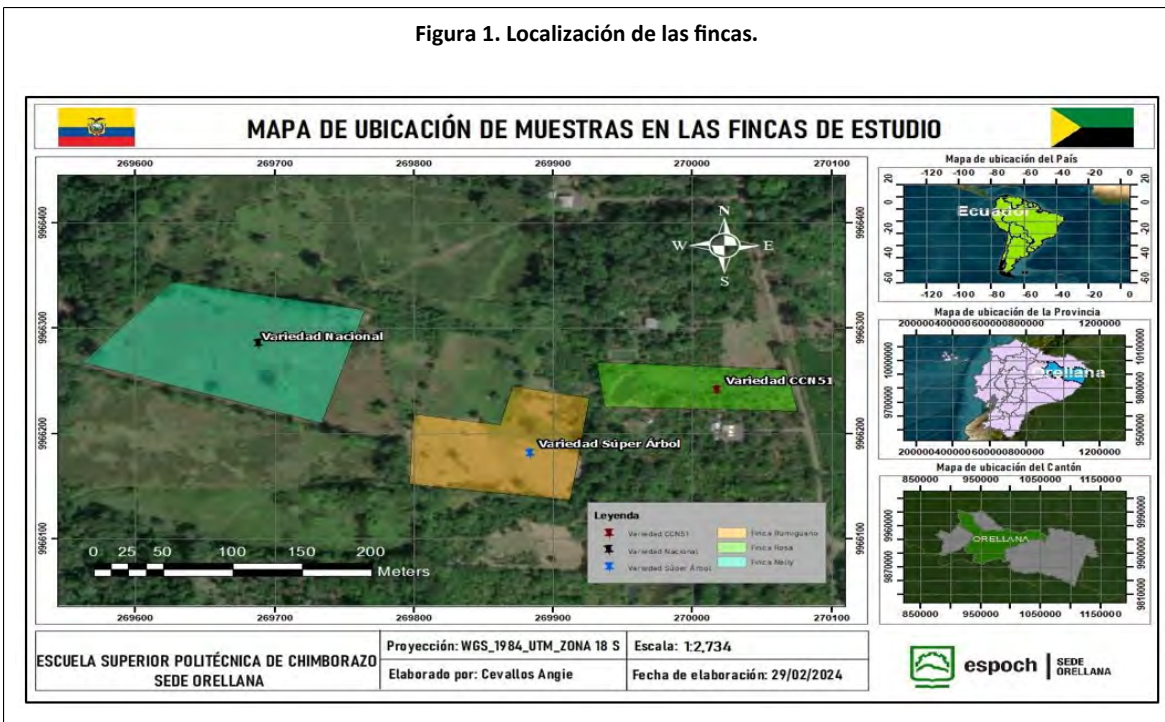
Sitio de recolecta

La recolecta de cascarilla de cacao se llevó a cabo en el cantón Francisco de Orellana perteneciente a la Provincia de Orellana, Ecuador, cuyas coordenadas son: -0.4625 latitud norte, 76 984 167 longitud oeste. Situado al noroeste de la Región Amazónica Ecuatoriana, este territorio forma parte de la Zona de Planificación 2 compuesta por las provincias de Pichincha, Napo y Orellana. El territorio cantonal abarca 7 047 km², con altitudes que van desde 100 hasta 720 m (GADM Francisco de Orellana, 2023).

Muestreo de materia prima

Se recolectaron tres muestras de cascarilla de cacao por triplicado, de 3 kg cada una, en tres fincas del cantón Francisco de Orellana (Figura 1), pertenecientes a la asociación Asopriabet, como parte del proyecto de revalorización de la cascarilla de cacao amazónico para la producción sostenible de papel Kraft.

Figura 1. Localización de las fincas.



Caracterización de la biomasa

La caracterización química de la biomasa de cascarilla de cacao se realizó en el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), en la Estación Experimental Central de la Amazonía. Se determinaron los contenidos de celulosa, hemicelulosa y lignina. La celulosa se cuantificó mediante el método Kurschner-Hoffer (Kurschner y Hoffer, 1931; Kapun *et al.*, 2024) y la lignina mediante el método TAPPI T-222 (TAPPI, 2002a). Preparación de la muestra: se pesaron 500 g de muestra y se envolvieron con papel periódico. Posteriormente, se sometió la muestra a un tratamiento térmico controlado, a 65 °C durante 24 h o hasta alcanzar un peso constante. Se extrajo la muestra y se trituró con un mortero hasta obtener una homogeneización adecuada. Los fragmentos resultantes se almacenaron en bolsas de plástico debidamente codificadas para su posterior análisis.

Determinación del contenido de lignina

En un matraz aforado se vertieron 665 ml de ácido sulfúrico concentrado de manera gradual sobre 300 ml de agua destilada, seguido de un ajuste con agua destilada hasta llegar a un volumen total de 1 000 ml. Se pesó 1 g de muestra libre de extractos y se colocó en un recipiente. Se añadieron 15 ml de ácido sulfúrico al 72% mientras se agitaba constantemente. La mezcla se dejó reposar a temperatura ambiente (26 °C) durante 2 h, hasta que adquirió un tono oscuro. Posteriormente, se transfirió la mezcla al equipo Dosi-fiber, modelo DF-6, marca Selecta (España), junto con 560 ml de agua para obtener una solución de H₂SO₄ al 4%. Esta mezcla se llevó a ebullición durante 4 h mediante un proceso de reflujo. Posteriormente, se separó la muestra por decantación y se lavó el residuo sólido con agua destilada caliente. Finalmente, se secó en una estufa a una temperatura de 105 ±3 °C hasta alcanzar un peso constante. Todo el procedimiento se repitió por triplicado.

Para la determinación del porcentaje de lignina se aplicó la siguiente fórmula.

$$\%lignina = \frac{Peso\text{residuo seco}(g)}{Peso\text{muestra original libre extracto}(g)} * 100$$

Determinación de celulosa

Inicialmente, se pesó una muestra libre de extractos, equivalente a 1 g en el crisol poroso y se colocó en el dispositivo Dosi-fiber. Se añadieron 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado a la muestra. La mezcla se llevó a ebullición durante 30 min mediante un sistema de reflujo. Después de este paso, se procedió a filtrar la solución. El residuo sólido resultante se sometió a una segunda digestión utilizando 20 ml de etanol y 5 ml de ácido nítrico concentrado, repitiendo el proceso de ebullición durante 30 min con condiciones de reflujo. Se decantó la solución y el residuo sólido se sometió a una tercera digestión con 100 ml de agua destilada durante una hora.

Posteriormente, se filtró la solución y se realizaron lavados con agua destilada caliente, seguidos por un lavado con 100 ml de una solución saturada de acetato de sodio y finalmente, con 500 ml adicionales de agua destilada caliente. El siguiente paso implicó secar el residuo en una estufa a una temperatura de 105 ± 3 °C. Una vez completado el proceso de secado, se enfrió el residuo en un desecador y se pesó con la ayuda de una balanza analítica.

Para su determinación se aplicó la siguiente fórmula.

$$\%celulosa = \frac{Peso\text{residuo seco}(g)}{Peso\text{muestra original libre extracto}(g)} * 100$$

Análisis estadístico

Los datos de porcentaje de lignina y celulosa se analizaron bajo un diseño completamente al azar. Se desarrolló la comparación entre variedades de cacao mediante un análisis de varianza (Anova) con un nivel de significancia de $p \leq 0.05$. Cuando se detectaron diferencias significativas, se aplicó la prueba de Tukey para la separación de medias, con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$). El análisis estadístico fue realizado utilizando software RStudio versión 2024.09.01.

Resultados

La variedad CNN-51 presentó el mayor contenido promedio de lignina (45.13%) y un contenido intermedio de celulosa (25.13%). Por su parte, la variedad Super Árbol registró un contenido ligeramente menor de lignina (42.88%) y el valor más bajo de celulosa (20.77%). En contraste, la variedad Nacional evidenció el menor contenido de lignina (38.97%), pero el mayor porcentaje de celulosa (28.57%) (Cuadro 1).

Cuadro 1. Porcentaje promedio de lignina y celulosa en residuos de tres variedades de cacao.

Variedad de cacao	Contenido promedio de lignina (%)	Contenido promedio de celulosa (%)
Súper Árbol	42.88	20.77
CCN-51	45.13	25.13
Nacional	38.97	28.57

Realizando los análisis estadísticos, no mostraron diferencias estadísticamente significativas entre los porcentajes de lignina dado que el factor de variedad de cacao presentó un p -valor mayor a 0.05 (0.1607). Este resultado se repitió para la celulosa en el factor variedad de cacao (Cuadro 2).



Cuadro 2. Anova de los porcentajes de lignina y celulosa.

FV	SC	gl	CM	F	p-valor
Lignina					
Modelo	58.38	2	29.19	2.52	0.1607
Variedad de Cacao	58.38	2	29.19	2.52	0.1607
Error	69.59	6	11.59		
Total	127.93	8			
Celulosa					
Modelo	91.83	2	45.91	4.9	0.0547
Variedad de cacao	91.83	2	45.91	4.9	0.0547
Error	56.21	6	9.37		
Total	148.03	8			

Discusión

El estudio tuvo como finalidad evaluar las propiedades químicas, específicamente los contenidos de lignina y celulosa, en los residuos de las variedades de cacao Nacional, CCN-51 y Super Árbol, con el objetivo de explorar su potencial como materia prima alternativa para papel Kraft. Si bien se observaron diferencias numéricas en los valores promedio de lignina y celulosa entre las variedades, el diseño experimental empleado- basado en repeticiones dentro de cada variedad sin considerar unidades experimentales independientes no permitió establecer diferencias estadísticas concluyentes entre ellas. En este sentido, las variaciones reportadas deben interpretarse de manera descriptiva, sin atribuirles necesariamente a efectos propios de la variedad.

De acuerdo con Grzyb *et al.* (2020), factores como las prácticas de cultivo, condiciones del suelo y el clima pueden influir en el contenido de lignina en residuos vegetales, lo cual podría tener relevancia en estudios futuros con diseños que contemplen estas variables de manera controlada. Este comportamiento podría deberse a que esta variedad es altamente híbrida y puede responder de manera diferente a factores externos, como lo sugieren otros estudios en cultivos tropicales híbridos (Kumar y Kunhamu, 2022). En comparación, investigaciones han indicado que un menor contenido de lignina es favorable para la industria papelera, ya que facilita el procesamiento químico y mejora la calidad del papel en términos de flexibilidad y resistencia (Hawanis *et al.*, 2024).

Si bien la variedad Nacional presentó un menor porcentaje promedio de lignina, este resultado no puede ser considerado estadísticamente significativo debido a las limitaciones del diseño experimental, que no contempló unidades independientes por variedad. Por tanto, no es posible afirmar diferencias reales entre las variedades evaluadas. En la fabricación de papel Kraft, la eliminación de lignina es un paso importante del proceso, ya que esta sustancia afecta negativamente la calidad y flexibilidad del papel (Bajpai, 2015). En este sentido, un menor contenido de lignina en los residuos vegetales puede facilitar el tratamiento químico necesario, pero no implica por sí mismo una ventaja concluyente sin un análisis más robusto.

Hallazgos como el de Romruen *et al.* (2022) destacan que los subproductos agrícolas con alto contenido de lignina pueden tener aplicaciones específicas, pero su uso en papelería dependerá del tipo de producto final y del tratamiento aplicado. Aunque los valores de lignina en la variedad Super Árbol mostraron poca variación entre las muestras analizadas, esta aparente consistencia no puede ser interpretada como un indicador de estabilidad composicional, ya que el diseño experimental no estuvo orientado a evaluar la influencia de factores ambientales ni la variabilidad entre unidades de cultivo. Las muestras utilizadas por variedad correspondieron únicamente a repeticiones necesarias para el análisis de laboratorio y no representan una evaluación estadística de la estabilidad química.

Investigaciones de Rempelos *et al.* (2020); Hameed *et al.* (2020) han señalado que ciertas variedades agrícolas pueden mantener composiciones químicas estables bajo condiciones controladas, sin embargo, para establecer afirmaciones de este tipo de residuos de cacao, se requerirían investigaciones con diseños experimentales más complejos que incluyan múltiples fuentes de variación. En el estudio, la variedad Super Árbol, presentó el promedio más bajo de contenido de celulosa en comparación con las otras dos variedades evaluadas. No obstante, debido a que las muestras analizadas correspondieron únicamente a repeticiones para el análisis técnico y no a unidades experimentales independientes, no es posible establecer conclusiones estadísticas sobre diferencias entre variedades.

Por lo tanto, cualquier aparente tendencia de contenido de celulosa debe interpretarse con precaución. Aun así, estudios, como el de Balea *et al.* (2020) han destacado que un alto contenido de celulosa es un factor importante para la resistencia, flexibilidad y viabilidad del papel en aplicaciones industriales. Si bien la variedad Nacional, presentó el promedio más alto de celulosa y valores numéricos que sugieren menor variabilidad, el diseño experimental empleado no permite establecer diferencias entre variedades. Por lo tanto, desde el punto de vista estadístico, no es posible afirmar que una variedad sea superior a otra para su uso en la fabricación de papel Kraft.

Estudios como el de Gil-Martín *et al.* (2022), han demostrado que algunas variedades agrícolas pueden presentar composiciones químicas estables pero insuficientes para aplicaciones industriales específicas. Sin embargo, para validar la aplicabilidad de los residuos de cacao como materia prima serían necesario un enfoque experimental que permita evaluar diferencias reales entre variedades y su respuesta bajo distintas condiciones de cultivo. Esto sugiere que, aunque esta variedad podría no ser ideal para la fabricación de papel Kraft, podría tener aplicaciones alternativas en productos de menor exigencia técnica. Investigaciones han identificado que variedades híbridas o cultivadas en condiciones variables tienden a mostrar dispersión en sus contenidos químicos, lo que puede limitar su predictibilidad para ciertas aplicaciones (Mayakannan *et al.*, 2023; Jagadeesan *et al.*, 2023).

Conclusiones

El estudio permitió explorar el potencial de los residuos del cacao como materia prima alternativa en la fabricación de papel Kraft, enfocándose en las propiedades químicas de lignina y celulosa en tres variedades cultivadas en el cantón Francisco de Orellana, Ecuador. Aunque se observaron diferencias numéricas entre las variedades analizadas, no se establecieron diferencias estadísticas significativas concluyentes. Los residuos de cacao, tanto de lignina como de celulosa, presentaron características químicas que los posicionan como una alternativa dentro de estrategias de aprovechamiento sostenible, sin embargo, su aplicación efectiva en la industria papelera requiere estudios complementarios con diseños más robustos que incluyan múltiples condiciones de cultivo y evaluación de desempeño en procesos industriales específicos.

Bibliografía

- 1 Bajpai, P. 2015. Basic overview of pulp and paper manufacturing process. *In*: Bajpai, P. Ed. Green chemistry and sustainability in pulp and paper industry. Springer International Publishing. 11-39 pp. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-18744-0-2>.
- 2 Balea, A.; Fuente, E.; Monte, M. C.; Merayo, N.; Campano, C.; Negro, C. and Blanco, A. 2020. Industrial application of nanocelluloses in papermaking: a review of challenges, technical solutions, and market perspectives. *Molecules*. 25(3):526-531.
- 3 Cabezas-Andrade, D.; Jiménez-Gutiérrez, M. Y.; Torres-Castillo, R. M. and Bustamante-Cuenca, J. C. 2024. Huella de carbono en residuos postcosecha de *Theobroma cacao* L. y la economía circular. *Agroecología Global. Revista Electrónica de Ciencias del Agro y Mar*. 6(11):4-20. <https://doi.org/10.35381/a.g.v6i11.4143>.

- 4 Cevallos, A. G. 2024. Evaluación de las propiedades físicas y mecánicas del papel kraft obtenido a partir de la biomasa lignocelulósica de la cascara de cacao (*Theobroma cacao* L.) tras someterse a un proceso de blanqueo con peróxido de hidrógeno. Tesis de grado, ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/22667>.
- 5 Daud, Z.; Awang, H.; Mohd, A. S.; Mohd, M. Z. and Mohd, A. 2014. Cocoa pod husk and corn stalk: alternative paper fibres study on chemical characterization and morphological structures. *Advanced Materials Research*. 911:331-335. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.911.331>.
- 6 De-Corato, U.; De-Bari, I.; Viola, E. and Pugliese, M. 2018. Assessing the main opportunities of integrated biorefining from agro-bioenergy co/by products and agroindustrial residues into high-value added products associated to some emerging markets: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 88:326-346.
- 7 Dey, T.; Bhattacharjee, T.; Nag, P.; Ghati, A. and Kuila, A. 2021. Valorization of agro-waste into value added products for sustainable development. *Bioresource Technology Reports*. 16:100834.
- 8 Enawgaw, H.; Tesfaye, T.; Yilma, K. T. and Limeneh, D. Y. 2023. Multiple utilization ways of corn by-products for biomaterial production with bio refinery concept; a review. *Materials Circular Economy*. 5(1):7-15.
- 9 GADM Francisco de Orellana. 2023. Plan de desarrollo y ordenamiento territorial del cantón Francisco de Orellana. GADM Francisco de Orellana.
- 10 García-Briones, A. R.; Pico-Pico, B. F. and Jaimez, R. 2021. La cadena de producción del cacao en Ecuador: resiliencia en los diferentes actores de la producción. *Revista Digital Novasinergia*. 4(2):152-172. <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>.
- 11 Gil-Martín, E.; Forbes-Hernández, T.; Romero, A.; Cinciosi, D.; Giampieri, F. and Battino, M. 2022. Influence of the extraction method on the recovery of bioactive phenolic compounds from food industry by-products. *Food Chemistry*. 378:131918.
- 12 Gómez-García, R.; Campos, D. A.; Aguilar, C. N.; Madureira, A. R. and Pintado, M. 2021. Valorisation of food agro-industrial by-products: from the past to the present and perspectives. *Journal of Environmental Management*. 299:113571.
- 13 Grzyb, A.; Wolna-Maruwka, A. and Niewiadomska, A. 2020. Environmental Factors Affecting the Mineralization of Crop Residues. *Agronomy*. 10(12):1951-1958.
- 14 Gutiérrez-Macías, P.; Mirón-Mérida, V. A.; Rodríguez-Nava, C. O. and Barragán-Huerta, B. E. 2021. Chapter 13 Cocoa: beyond chocolate, a promising material for potential value-added products. *In: Bhat, R. Ed. Valorization of Agri-Food Wastes and By-Products*. 267-288 pp.
- 15 Hailemariam, T. T. and Woldeyes, B. 2024. Production and characterization of pulp and paper from flax straw. *Scientific Reports*. 14(1):24300-24308. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-74096-y>.
- 16 Hameed, A.; Hussain, S. A. and Suleria, H. A. R. 2020. Coffee bean related agroecological factors affecting coffee. Eds. *Co-Evolution of Secondary Metabolites*. 641-705 pp.
- 17 Hawanis, H. S. N.; Ilyas, R. A.; Jalil, R.; Ibrahim, R.; Majid, R. A. and Hamid, N. H. 2024. Insights into lignocellulosic fiber feedstock and its impact on pulp and paper manufacturing: a comprehensive review. *Sustainable Materials and Technologies*. 40:e00922.
- 18 Jagadeesan, R.; Suyambulingam, I.; Divakaran, D. and Siengchin, S. 2023. Novel sesame oil cake biomass waste derived cellulose micro-fillers reinforced with basalt/banana fibre-based hybrid polymeric composite for lightweight applications. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 13(5):4443-4458.
- 19 Jakob, M.; Mahendran, A. R.; Gindl-Altmutter, W.; Bliem, P.; Konnerth, J.; Müller, U. and Veigel, S. 2022. The strength and stiffness of oriented wood and cellulose-fibre materials: A review. *Progress in Materials Science*. 125:100916.

- 20 Kapun, T.; Karlovits, I. and Dimitrov, K. 2024. Cocoa husk biomass conversion for application in fibre packaging. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 14(10):11165-11173. <https://doi.org/10.1007/s13399-022-03330-2>.
- 21 Koul, B.; Yakoob, M. and Sah, M. P. 2022. Agricultural waste management strategies for environmental sustainability. *Environmental Research*. 206:112285.
- 22 Kumar, B. M. and Kunhamu, T. K. 2022. Nature-based solutions in agriculture: a review of the coconut (*Cocos nucifera* L.) based farming systems in Kerala, the land of coconut trees. *Nature-Based Solutions*. 2:100012.
- 23 Kürschner, K. and Hoffer, A. 1931. Eine neue quantitative cellulosebestimmung. *Chemiker-Zeitung*. 17:161-168.
- 24 Mayakannan, S.; Raj, J. B.; Raja, V. L. and Nagaraj, M. 2023. Effectiveness of silicon nanoparticles on the mechanical, wear, and physical characteristics of PALF/sisal fiber based polymer hybrid nanocomposites. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 13(14):13291-13305.
- 25 Megra, M. B.; Bachheti, R. K.; Tadesse, M. G. and Worku, L. A. 2022. Evaluation of pulp and papermaking properties of *Melia azedarach*. *Forests*. 13(2):1-10. <https://doi.org/10.3390/f13020263>.
- 26 Plakantonaki, S.; Roussis, I.; Bilalis, D. and Priniotakis, G. 2023. Dietary fiber from plant-based food wastes: a comprehensive approach to cereal, fruit, and vegetable waste valorization. *Processes*. 11(5):1580-1587.
- 27 Ramos-Ramos, T. P.; Guevara-Llerena, D. J.; Sarduy-Pereira, L. B. and Diéguez-Santana, K. 2020. Producción más limpia y ecoeficiencia en el procesado del cacao: un caso de estudio en Ecuador. *Revista Investigación y Desarrollo*. 20(1):1-10. <https://doi.org/10.23881/idupbo.020.1-10i>.
- 28 Rempelos, L.; Almuayrifi, M. S. B.; Baranski, M.; Tetard-Jones, C.; Barkla, B.; Cakmak, I.; Ozturk, L.; Cooper, J.; Volakakis, N.; Hall, G.; Zhao, B.; Rose, T. J.; Wang, J.; Kalee, H. A.; Sufar, E.; Hasanalieya, G.; Bilsborrow, P. and Leifert, C. 2020. The effect of agronomic factors on crop health and performance of winter wheat varieties bred for the conventional and the low input farming sector. *Field Crops Research*. 254:107822 .
- 29 Romruen, O.; Karbowiak, T.; Tongdeesoontorn, W.; Shiekh, K. A. and Rawdkuen, S. 2022. Extraction and characterization of cellulose from agricultural by-products of chiang rai province. Thailand. *Polymers*. 14(9):1830-1837.
- 30 Saravia-Matus, S. L.; Rodríguez, A. G. and Saravia, J. A. 2020. Determinants of certified organic cocoa production: evidence from the province of Guayas, Ecuador. *Organic Agriculture*. 10(1):23-34.
- 31 Siqueira, M. U.; Contin, B.; Fernandes, P. R. B.; Ruschel-Soares, R.; Siqueira, P. U. and Baruque-Ramos, J. 2022. Brazilian agro industrial wastes as potential textile and other raw materials: a sustainable approach. *Materials Circular Economy*. 4(1):9-17.
- 32 TAPPI. 2022a. T211 Om-02 cenizas en madera, pulpa, papel y cartón: combustión a 525 °C. Asociación técnica de la industria de pulpa y papel. Atlanta, GA, EE. UU.
- 33 Villacis, A.; Alwang, J.; and Barrera, V. 2022. Cacao value chains and credence attributes: lessons from Ecuador. *Journal of Agribusiness in Developing and Emerging Economies*. 12(4):549-566.
- 34 Viteri, S. I. 2022. Evaluación del proceso de fermentación en las variedades de cacao nacional y súper árbol (*Theobroma cacao* L.) en las condiciones climáticas del cantón Joya de los Sachas, provincia de Orellana. Tesis de grado, ESPOCH. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16536>.

Potencial de los residuos de cascarilla de cacao para la industria papelera

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias

Article/Issue Information
Date received: 1 July 2025
Date accepted: 1 October 2025
Publication date: 28 November 2025
Publication date: Nov-Dec 2025
Volume: 16
Issue: 8
Electronic Location Identifier: e3833
DOI: 10.29312/remexca.v16i8.3833

Categories

Subject: Artículos

Palabras clave:

Palabras clave:

agroindustria
biomasa
cultivares
subproductos

Counts

Figures: 1

Tables: 2

Equations: 2

References: 34