

Subproductos del café (*Coffea*): desafíos ambientales y oportunidades para la bioeconomía

Luis Antonio López-Escobar ¹, Daniel Simón Olivo-Alanis ² y Noemi Nava-Valente ^{2,*}

¹ Laboratorio de Investigación Aplicada en Bioprocesos Sustentables, Universidad Politécnica de Huatusco, Huatusco, Veracruz, México.

² Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C., Unidad Noreste, Apodaca, Nuevo León, México.

* Autor de correspondencia: nnav@ciatej.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 11 de abril de 2025 Aceptado: 4 de junio de 2025 Publicado: 23 de junio de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i1.422>

Resumen: El café es una de las bebidas más consumidas en el mundo, con gran relevancia económica y social para países productores como México. Sin embargo, su producción genera grandes cantidades de residuos, especialmente durante el beneficio húmedo, como la pulpa, cáscara, mucílago y aguas residuales. Estos subproductos (residuos aprovechables), al no ser manejados adecuadamente, representan una fuente significativa de contaminación para suelos y cuerpos de agua. Este análisis aborda la necesidad de incorporar el enfoque de economía circular en la caficultura mediante la valorización de estos residuos. Gracias a su composición química, pueden ser transformados en productos de alto valor agregado como bioenergéticos, bioplásticos y biofertilizantes a través de tecnologías biotecnológicas. Se destacan experiencias exitosas y la importancia de implementar políticas públicas que impulsen el aprovechamiento sostenible de estos subproductos, contribuyendo así a la mitigación ambiental y al fortalecimiento de una bioeconomía local.

Palabras clave: café, subproductos agroindustriales, economía circular, valorización de residuos.

Introducción

El café (*Coffea*) es una de las bebidas más consumidas a nivel mundial, con más de dos mil millones de tazas ingeridas diariamente (SADER, 2025). Su consumo se ha asociado con diversos beneficios para la salud, como la reducción del riesgo de diabetes tipo 2, enfermedades hepáticas y neurodegenerativas (Kolb *et al.*, 2020). Además de sus propiedades estimulantes que ayudan a contrarrestar la somnolencia, mejorar el estado de ánimo e incluso aumentar la productividad, la amplia variedad de presentaciones y sabores ha consolidado su lugar en la preferencia de los consumidores. Este impacto en la salud y su atractivo sensorial han contribuido a que el café adquiriera el estatus de una de las bebidas más populares en el mundo. Sin embargo, su popularidad lleva a una interrogante clave: ¿cuánto café se necesita producir para satisfacer esta demanda global? De acuerdo con el reporte Coffee: World Markets and Trade del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, en el ciclo 2022/2023 la producción mundial alcanzó aproximadamente 170 millones de sacos de 60 kilogramos (Barrera *et al.*, 2023).

México es uno de los principales productores de café en el mundo con aproximadamente 710,361 hectáreas sembradas, concentrándose principalmente en los estados de Chiapas, Veracruz, Oaxaca, Puebla, Guerrero e Hidalgo, favorecido por su topografía, clima y suelos propicios. La caficultura nacional representa el 0.66 % del PIB agrícola y el 1.34 % de la producción agroindustrial, empleando a más de 500 mil productores en 15 estados y 480 municipios (SADER, 2025). Esta magnitud de producción conlleva también un impacto

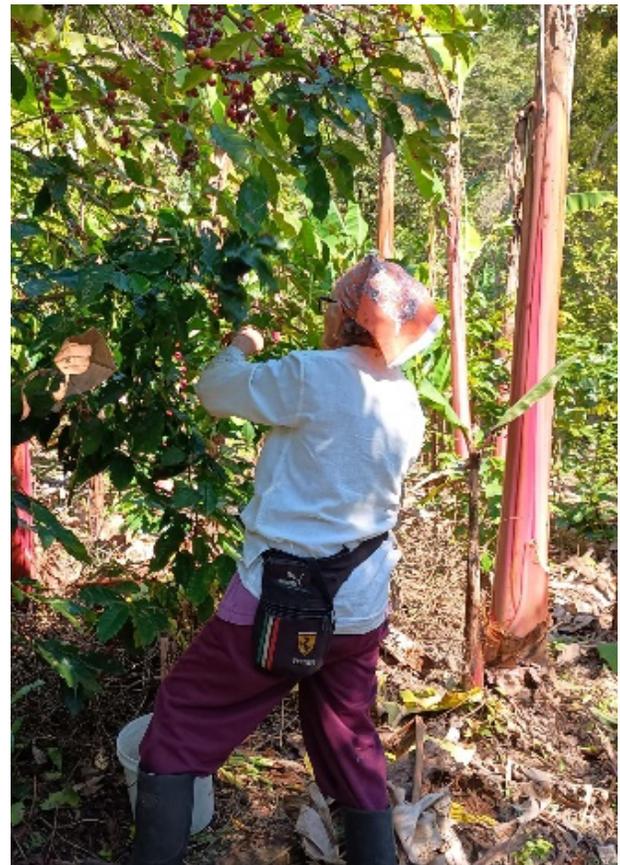


Figura 1. Cosecha tradicional de café en zonas de producción mexicana.

ambiental significativo, particularmente en lo que respecta a los subproductos generados durante su procesamiento, en términos de descarga de aguas mieles a cuerpos receptores de agua o lixiviados de pulpa de café. que dañan los suelos, por citar algunos ejemplos. Ante estos desafíos, el aprovechamiento de los subproductos emerge como una estrategia clave para mejorar la sostenibilidad de la industria y agregar valor a la cadena productiva.

El presente artículo destaca la necesidad de integrar el modelo de la economía en las cadenas de valor de la caficultura mundial, pero sobre todo en México, a través de la transformación de subproductos del café en bioproductos como los bioplásticos, biocombustibles y biofertilizantes mediante procesos biotecnológicos, aunado a la necesidad de diseñar e implementar políticas públicas que garanticen la competitividad de este sector, no solo fomentando el desarrollo económico, sino el ambiental y el social.

Desarrollo

Generación de subproductos y retos ambientales en el beneficiado del café

El procesamiento del café (beneficiado), consiste en separar el grano de las otras cuatro capas del fruto (Figura 2). Este proceso puede realizarse por tres métodos: seco, semi seco y húmedo, su principal diferencia radica en el número de etapas involucradas y la calidad del producto final. Dependiendo del método de beneficiado la cáscara, pulpa, mucílago y grandes volúmenes de aguas residuales forman parte de los subproductos resultantes. En muchos casos, estos residuos son descartados sin un tratamiento adecuado, lo que puede llevar a la contaminación de suelos y cuerpos de agua y proliferación de especies invasoras (Campos *et al.*, 2021).

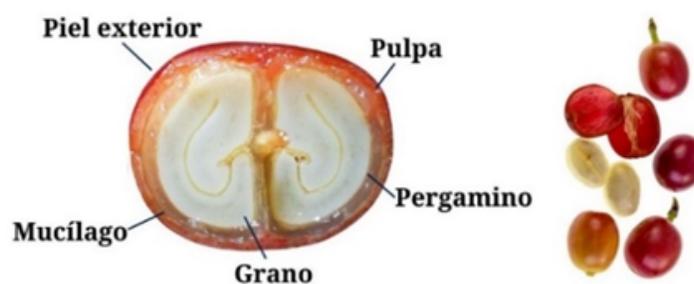


Figura 2. Estructura del fruto del café: muestra las capas que lo componen hasta llegar al grano.

Las características físicas y químicas de los residuos sólidos, como la pulpa de café seca o fresca, pueden llegar a contaminar embalses cercanos, ya que provocan un aumento de la demanda bioquímica de oxígeno, disminución del pH y la presencia de sólidos en suspensión que limitan la penetración de la luz solar y afectan la calidad del agua. En el suelo, los fenoles y polifenoles constituyentes de la pulpa representan sustancias tóxicas para muchas especies de artrópodos y microorganismos, además de afectar las poblaciones de la microflora edáfica.

Por otra parte, los volúmenes de aguas residuales generadas durante el beneficiado húmedo presentan una alta carga orgánica y contienen taninos, alcaloides (cafeína), polifenoles, pectina, proteínas y azúcares, con un pH ácido (alrededor de 3.5). Cuando estas aguas son liberadas en cuerpos de agua receptivos, generan zonas anóxicas debido a su estabilización anaerobia, lo que da lugar a la producción de metano, fenoles y ácido sulfhídrico, compuestos que emiten olores desagradables. Además, el enriquecimiento nutricional de estas aguas puede propiciar el desarrollo de especies invasoras como eneas, jacintos de agua, agua salada y diversas algas, lo que representa una amenaza para la biodiversidad local (Campos *et al.*, 2021).

Si bien los impactos más evidentes por la inadecuada gestión de estos residuos se observan en cuerpos de agua y suelos, también pueden ocasionar atracción de vectores, malos olores y afectar el paisajismo propio de las zonas cafetaleras. En adición, el cambio climático está afectando la producción de café con sequías, lluvias intensas y temperaturas extremas, lo que reduce la calidad del grano y eleva los costos de producción (Jaramillo-Villanueva *et al.*, 2022).

Aprovechamiento y valorización de subproductos

Bajo estas circunstancias, la valorización de los subproductos del café se presenta como una alternativa clave para mejorar la sostenibilidad de la industria.

Cáscara de café (pulpa de café seca)

Es el principal subproducto del método seco y está formada por capas de piel seca, pulpa, mucílago y pergamino, se genera cuando la cereza de café se seca entre 12%-18%. La cáscara de café es rica en taninos, cafeína, pectina, polifenoles y carbohidratos. Sus usos y aprovechamiento han sido exitosos como fertilizante, composta, precursores de compuestos poliméricos, producción de materiales cerámicos, carbón activado, empaques de comida, aditivos y formulación de alimentos, así como combustible sólido.

Pulpa de café

Representa el 35% del fruto del café y, se genera en el beneficio húmedo durante el proceso de descascarillado, produciendo aproximadamente 0.5 toneladas por tonelada de café fresco (Figura 3). Este subproducto exhibe un contenido significativo de compuestos químicos, como ácidos fenólicos, con aplicaciones en industrias alimentarias, cosméticas y farmacéuticas (Nava-Valente *et al.*, 2021). Aunque se ha estudiado extensamente la extracción de estos compuestos, la pulpa también contiene carbohidratos, minerales y proteínas, explorándose su potencial como alimento animal y su utilidad en la germinación de semillas y el crecimiento de plantas, sin embargo, la presencia de compuestos como cafeína, ácido clorogénico y taninos limita su aplicación en estos campos (Corrêa *et al.*, 2021). Además, la pulpa de café se ha empleado como sustrato para el cultivo de hongos y como recurso biomásicos para la producción (compuestos bioactivos) y biogás (Iriondo-DeHond *et al.*, 2020).



Figura 3. Pulpa generada tras el despulpado del café.

Mucílago

El mucílago de café se genera en el beneficiado húmedo de café, el cual es una capa interna, pegajosa y fuertemente adherida al grano y que es retirado en el proceso de fermentación para obtener un grano verde más limpio antes del proceso de descascarado. El mucílago contiene concentraciones significativas de celulosa, pectina y polisacáridos, características que lo hacen un subproducto potencial para la fabricación de bioplásticos y mejorar las características de los envases de alimentos. Debido al rico contenido en azúcares que pueden transformarse en alcohol o energía mediante procesos biológicos, el contenido de azúcares fermentables en el mucílago de café, este ha sido empleado como materia prima para la producción de etanol (Hernández-Varela *et al.*, 2023).

Aguas residuales

Durante diversas etapas de la producción postcosecha del café por el método húmedo, se utiliza un gran volumen de agua y, se estima que se producen entre 40-45 L de aguas residuales por kilogramos de café verde durante el despulpado y lavado. Las principales características químicas de las aguas generadas es el elevado contenido de material orgánico, destacando taninos, alcaloides (cafeína), polifenoles, pectina, proteínas y azúcares. Actualmente una de las principales barreras para la valorización de este tipo de aguas radica en el/los tipos(s) de tratamiento necesarios para reducir la concentración de materia orgánica, resultando muchas veces de elevado costo y poco eficientes dado las elevadas cargas orgánicas presentes en las aguas. Es por esto por lo que los efluentes provenientes del beneficiado húmedo de café son efluentes potenciales para la generación de bioenergía y extracción de compuestos secundarios presentes en ellas (Alemayehu *et al.*, 2020).

Políticas públicas

Las políticas públicas representan un eje central para la revalorización de los residuos generados durante el beneficiado húmedo de café, a través del aprovechamiento bajo un enfoque de economía circular, es decir, se fomenta el reúso de

estos subproductos. Como ejemplos de políticas públicas, surgen propuestas que establezcan marcos normativos que establezcan incentivos para investigación y desarrollo de tecnologías que transformen los residuos en biofertilizantes, biocombustibles o materiales biodegradables, además, es clave, promover la generación de capital humano especializado, así como de capacitación de productores en términos de prácticas sostenibles que fortalezcan la infraestructura y recursos naturales presentes en la zonas cafetaleras, coadyuvando apago por servicios ambientales, como abastecimiento de agua, leña, entre otros. La colaboración entre los sectores público, privado y académicos garantizaría una transición efectiva hacia un modelo más sostenible, que, a su vez, promoverá la participación activa de la ciudadanía, a través de iniciativas de ciencia ciudadana y educación ambiental, fortaleciendo la vigilancia del entorno, fomentando el uso responsable de los recursos y promoviendo el consumo informado. Una caficultura circular no solo es posible, sino necesaria, y su construcción es una tarea compartida.

Perspectivas y tendencias

El futuro de la caficultura no depende únicamente de mejorar la productividad del grano, sino de transformar la manera en que entendemos y manejamos sus residuos. Los subproductos del café, tradicionalmente considerados desechos, son en realidad recursos con un enorme potencial para generar valor económico, social y ambiental. Desde el papel del consumidor —optando por productos elaborados con insumos reciclados o biobasados— hasta el del emprendedor o investigador que busca nuevas aplicaciones para estos residuos, todos podemos contribuir a una caficultura más sustentable. La valorización de estos materiales no solo ofrece soluciones ecológicas, sino que también puede abrir nuevas cadenas productivas, generar empleo local e impulsar la innovación tecnológica en comunidades rurales.

Desafíos ambientales

Los desafíos ambientales a los que se enfrenta la gestión integral de los residuos del beneficiado húmedo del café, a través de la transformación para su aprovechamiento y revalorización, están orientados al tratamiento de los efluentes con elevadas cargas orgánicas que destruyen toda clase de vida acuática en cuerpos de agua y los lixiviados de pulpa de café que permean los suelos y transforman su composición química y con ello su fertilidad, además crear conciencia junto con la educación de los productores son necesarios para una exhibición detentada que incluye la economía circular que minimice la intervención ambiental en la caficultura.

Conclusiones

La producción de café, aunque de gran relevancia económica y social, implica también importantes desafíos ambientales debido a la generación masiva de subproductos como la cáscara, pulpa, mucílago y aguas residuales. Estos residuos, al ser desechados sin tratamiento adecuado, afectan negativamente a cuerpos de agua, suelos y biodiversidad local. Sin embargo, su revalorización mediante procesos biotecnológicos ofrece una vía efectiva para transformar un problema ambiental en una oportunidad productiva.

El aprovechamiento de estos subproductos para la obtención de biofertilizantes, bioplásticos, bioenergía y compuestos de valor añadido no solo contribuye a reducir la contaminación, sino que también abre nuevas posibilidades económicas y de innovación tecnológica para las comunidades cafetaleras. En este contexto, integrar modelos de economía circular resulta clave para aumentar la resiliencia del sector frente al cambio climático y la presión sobre los recursos naturales.

Asimismo, la promoción de políticas públicas orientadas al financiamiento, regulación y acompañamiento técnico de proyectos sustentables puede acelerar esta transición. Del mismo modo, fortalecer la participación social mediante ciencia ciudadana y educación ambiental resulta esencial para construir una caficultura más sostenible, participativa y equitativa.

Bibliografía

Alemayehu, Y.A., Asfaw, S. L., Tirfie, T.A. (2020). Management options for coffee processing wastewater. A review. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 22, 454-469. <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00953-y>

- Barrea, L., Pugliese, G., Frias-Toral, E., El Ghoch, M., Castellucci, B., Chapela, S. P., Muscogiuri, G. (2023). Coffee consumption, health benefits and side effects: a narrative review and update for dietitians and nutritionists. *Critical reviews in food science and nutrition*, 63(9), 1238-1261. <https://doi.org/10.1080/10408398.2021.1963207>
- Campos, R. C., Pinto, V. R. A., Melo, L. F., da Rocha, S. J. S. S., Coimbra, J. S. (2021). New sustainable perspectives for “Coffee Wastewater” and other by-products: A critical review. *Future Foods*, 4, 100058. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2021.100058>
- Corrêa, C.L.O., Penha, E.M., Freitas-Silva, O., Luna, A. S., Gottschalk, L. M. F. (2021). Enzymatic Technology Application on Coffee Co-products: A Review. *Waste and Biomass Valorization*, 12, 3521–3540. <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01208-w>
- Hernández-Varela, J.D., Medina, D.I. (2023). Revalorization of coffee residues: advances in the development of eco-friendly biobased potential food packaging. *Polymers*, 15(13), 2823. <https://doi.org/10.3390/polym15132823>
- Iriondo-DeHond, A., Iriondo-DeHond, M., Del Castillo, M.D. (2020). Applications of compounds from coffee processing by-products. *Biomolecules*, 10(9), 1219. <https://doi.org/10.3390/biom10091219>
- Jaramillo-Villanueva, J. L., Guerrero-Carrera, J., Vargas-López, S., & Bustamante-González, Á. (2022). Perception and adaptation of coffee producers to climate change in Puebla and Oaxaca, México. *Ecosistemas y recursos agropecuarios*, 9(1). <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3170>
- Kolb, H., Kempf, K., Martin, S. (2020). Health effects of coffee: Mechanism Unraveled?. *Nutrients*, 12(6), 1842. <https://doi.org/10.3390/nu12061842>
- Lee, Y.G., Cho, E.J., Maskey, S., Nguyen, D.T., Bae, H.J. (2023). Value-Added Products from Coffee Waste: A Review. *Molecules*, 28(8), 3562. <https://doi.org/10.3390/molecules28083562>
- Nava-Valente, N., Del Ángel-Coronel, O. A., Atenodoro-Alonso, J., & López-Escobar, L. A. (2023). Effect of thermal and acid pre-treatment on increasing organic loading rate of anaerobic digestion of coffee pulp for biogas production. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(6), 4817-4830. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01529-3>
- SADER. (2021). *Café, la bebida que despierta a México*. Gobierno de México. <https://www.gob.mx/agricultura/articulos/cafe-la-bebida-que-despierta-a-mexico>
- Said, N.S.M., Abdullah, S.R.S., Ismail, N.I., Hasan, H.A., Othman, A. R. (2023). Integrating treatment processes of coffee processing mill effluent for reclamation of secondary resources. *Journal of Cleaner Production*, 386, 135837. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.135837>