

Avances *Técnicos*

SEPTIEMBRE 2026

Cenicafé®
Centro Nacional de Investigaciones de Café

Duque Dussan E. | Cruz Ospina V. | Rodríguez Valencia N.
González Osorio H. | Sanz Uribe J.R.

591

Pulpa de café como biocombustible: una alternativa energética para las fincas cafeteras



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

En el proceso tradicional de beneficio húmedo del café en Colombia, uno de los residuos más abundantes es la pulpa. Se estima que cerca del 43% del total del fruto cosechado es removido durante el despulpado (Montilla et al., 2008). A diferencia de otra materia prima residual como el cisco, que normalmente se genera en trilladoras centralizadas fuera de la finca, la pulpa queda disponible directamente en el lugar de producción, lo que representa una gran oportunidad de aprovechamiento por parte de los caficultores. Dentro de las recomendaciones de Cenicafé para el manejo de coproductos, se encuentra el uso de la pulpa como biocombustible, para la generación de energía en forma de calor (Rodríguez-Valencia, 2023).

Este Avance Técnico presenta los resultados de una investigación, en la que se caracterizó la pulpa de café seca de la variedad Cenicafé 1 y se evaluó su uso como biocombustible en finca, específicamente en sistemas de secado mecánico de café, destacando su potencial para reducir costos, mejorar la autonomía energética y aportar a la **bioeconomía circular**. Este concepto se refiere al **aprovechamiento eficiente de los recursos dentro del sistema productivo, procurando reducir la generación de residuos, extender el valor de los materiales y reincorporar los subproductos al proceso mediante usos útiles**. En este caso, la pulpa de café deja de considerarse un residuo y se convierte en una fuente de energía renovable disponible en la propia finca.

Secado y caracterización energética de la pulpa de café

Para evaluar el potencial energético, es decir, su capacidad para generar calor aprovechable como biocombustible en procesos de secado, se recolectaron 200 kg de pulpa fresca de *Coffea arabica* L. variedad Cenicafé 1, obtenida durante el proceso de beneficio húmedo realizado en las instalaciones de Cenicafé (Manizales, Caldas). Esta pulpa, con un contenido de humedad inicial aproximado de 78,2%

en base húmeda (b.h.), provenía de frutos maduros, en estados entre 4 a 6 de madurez del Cromacafé® (Peñuela-Martínez et al., 2022), seleccionados para garantizar homogeneidad. Posteriormente, la biomasa fue extendida en un secador solar tipo túnel con cubierta de policarbonato macizo, de 3 mm de espesor, hasta alcanzar un contenido de humedad del 8% en base húmeda (b.h.) (Figura 1a), valor adecuado para su almacenamiento, conservación y uso como biocombustible (Twinomuhwezi et al., 2021). El proceso de secado se repitió tres veces (tres repeticiones), bajo condiciones ambientales típicas de la región, con temperaturas diurnas entre 22°C y 28°C y humedad relativa entre 55% y 75%.

Finalizado el secado, se obtuvo una masa promedio de 38,5 kg de pulpa de café seca por cada 200 kg de pulpa de café fresca, lo que corresponde a un rendimiento de transformación del 19,2%. Esta notable reducción en peso, debido a la pérdida de agua, destaca la importancia de realizar un secado eficiente antes de utilizar la pulpa como fuente de energía (Figura 1b).

Una vez seca, la pulpa se molió en un molino de laboratorio (Retsch ZM200, Haan, Alemania) hasta



Figura 1. a Pulpa de café fresca antes del secado solar; b. Pulpa de café después del secado solar.

obtener un tamaño de partícula inferior a 0,5 mm, cumpliendo con la norma ISO 18134-3:2022 para análisis de biomasa sólida. Este procedimiento se realizó exclusivamente con fines analíticos, con el objetivo de garantizar la homogeneidad de la muestra durante la caracterización termoquímica en condiciones controladas de laboratorio. Es importante aclarar que la molienda no constituye un requisito operativo para el uso de la pulpa como biocombustible en finca; allí el material puede secarse y emplearse directamente, sin necesidad de molienda previa (Figura 2).

Posteriormente, se determinaron el contenido de humedad, cenizas y materia volátil (fracción del material que se libera como gases al calentarse y facilita la combustión), así como el poder calorífico (valor energético liberado durante la

combustión), así como su composición elemental (carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno, azufre y cloro). También se analizó la composición química de la ceniza y el comportamiento del material frente a altas temperaturas, a través de pruebas de sinterización (contracción y ablandamiento inicial de la muestra molida) y fusión (colapso y derretimiento completo del material) (Contreras-Trejo et al., 2022). Los resultados confirmaron que la pulpa seca posee un alto contenido de materia volátil (87,5%), un poder calorífico neto de $16,5 \text{ MJ kg}^{-1}$ y un bajo contenido de contaminantes como azufre (0,10%) y cloro (0,05%), lo que la hace segura y eficiente para la combustión. Estas características la convierten en una alternativa viable para alimentar sistemas de secado mecánico en finca, especialmente en zonas donde no se dispone de cisco o leña.

Ensayos prácticos de secado mecánico con pulpa seca

Con el fin de evaluar el uso exclusivo de pulpa seca de café como biocombustible para la generación de aire caliente en el secado mecánico del grano en finca, en mayo de 2025, se realizaron tres pruebas de combustión en un secador mecánico de lecho estático de tres capas, con capacidad para diez arrobas (aproximadamente 125 kg de café pergamino seco), ubicado en las instalaciones de Cenicafé (Figura 3).

En cada prueba se secaron aproximadamente 245 kg de café húmedo con un contenido inicial de humedad del 53% (b.h.), el cual fue reducido hasta un 10% (b.h.), utilizando aire caliente, generado por la combustión de la pulpa seca, a una temperatura promedio de 50°C y un flujo específico de $0,1 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ (Parra-Coronado et al., 2017). El proceso completo de secado tuvo una duración de 22 horas, similar al tiempo requerido cuando se utiliza cisco como combustible (Figura 4).



Figura 2. Pulpa de café seca **a.** antes y **b.** después de la molienda.

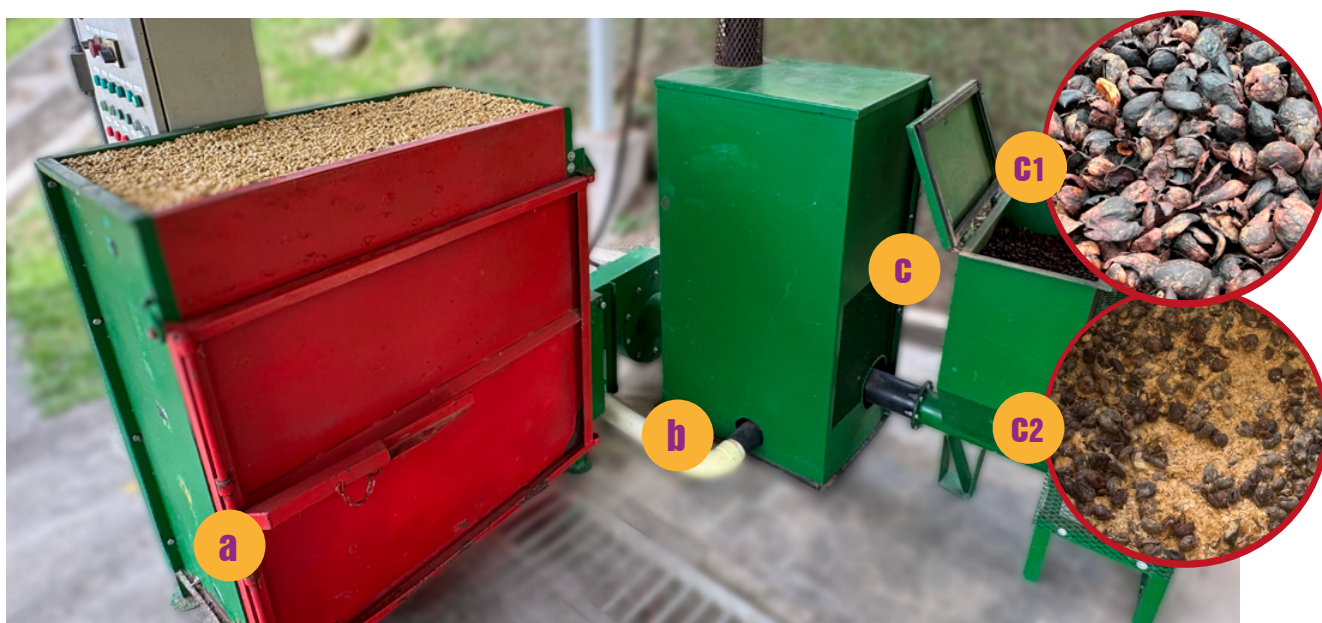


Figura 3. Montaje del sistema de secado mecánico alimentado con pulpa de café seca. **a.** Secador de tres capas con lecho estático. **b.** Intercambiador de calor. **c.** Tolva de alimentación de biomasa. **c1.** Pulpa seca. **c2.** Pulpa seca mezclada con cisco.

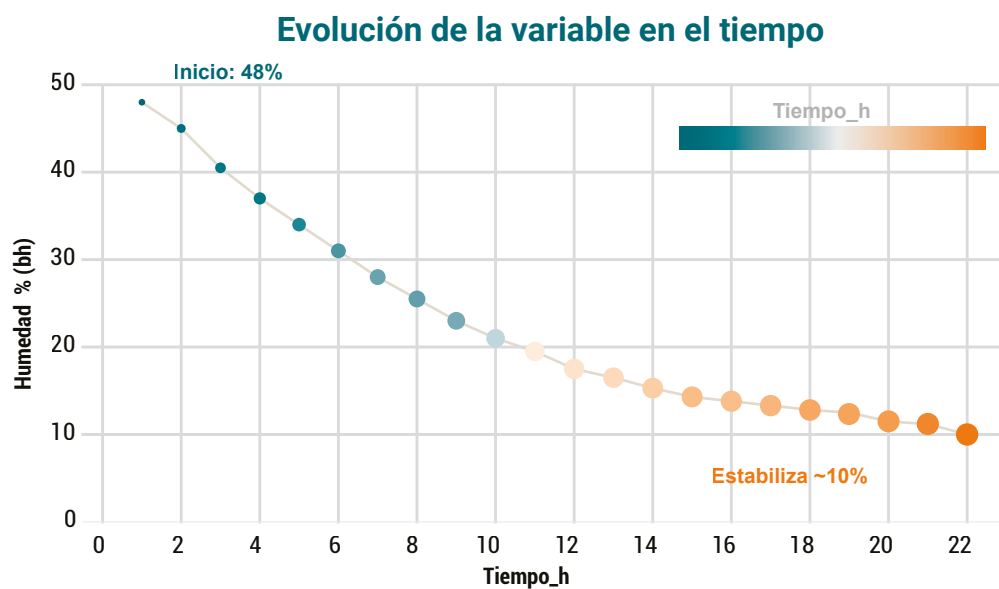


Figura 4. Reducción del contenido de humedad del café pergamino durante el secado mecánico con pulpa seca como fuente energética.

La Figura 4 muestra un comportamiento típico de secado no lineal del café pergamino: al inicio predomina la remoción de agua libre y, hacia el final, la difusión de agua más ligada desde el interior del grano; este comportamiento es equivalente al observado cuando se emplean combustibles convencionales como cisco o gas, lo que confirma que el uso de pulpa seca no altera la dinámica del proceso de secado.

Para calcular la relación de consumo entre el biocombustible y el producto final seco, se midió la cantidad total de pulpa consumida en cada prueba. Los resultados mostraron que fueron necesarios 0,39 kg de pulpa seca por cada kilogramo de café pergamino seco, en promedio, un valor comparable al consumo típico de cisco, reportado en 4,5 kg por arroba ($\sim 0,36 \text{ kg kg}^{-1} \text{ c.p.s.}$) (Duque-Dussán et al., 2025), lo que indica un comportamiento energético similar entre ambos biocombustibles.

Dado que la eficiencia del quemador puede variar dependiendo del diseño del sistema, el aislamiento térmico y las condiciones operativas (Oliveros-Tascón et al., 2009), se recomienda adoptar una relación conservadora de 0,45 kg de pulpa seca por kilogramo de café pergamino seco, como valor de referencia para planificación en la finca. Esta estimación ofrece un margen de seguridad que favorece la continuidad del proceso de secado y refuerza la autonomía energética del caficultor.

Valorización de la ceniza y beneficios ambientales

Además de su uso como biocombustible, la combustión de la pulpa seca de café genera ceniza como subproducto mineral. Durante las pruebas de secado mecánico, la producción de ceniza correspondió al 3,5% de la masa seca de pulpa utilizada. Este valor fue inferior al reportado por Blandón et al. (1998) para pulpa de café, entre 6,6% y 7,3%, posiblemente debido a diferencias en el material evaluado, el proceso de beneficio, las condiciones de

secado, el método de análisis y la base de cálculo empleada.

Desde el punto de la composición química elemental, la ceniza reveló contenidos de potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), fósforo (P), silicio (Si), hierro (Fe), sodio (Na), manganeso (Mn) y una muy baja concentración (casi nula) de metales pesados (Tabla 1 y Figura 5). El pH estuvo en un rango entre 9,5 y 10,0, el poder relativo de neutralización total fue 21% y eficiencia granulométrica del 34%. Estos resultados indican que la ceniza corresponde a un material con muy bajo potencial de reactividad, por consiguiente, no debe considerarse como fuente de nutrientes para el café ni como enmienda para la corrección de la acidez del suelo.

Por lo anterior, en el alcance de este Avance Técnico, la ceniza debe entenderse como un subproducto mineral con potencial de aprovechamiento, cuyo uso como enmienda o fuente de nutrientes requiere estudios específicos antes de establecer recomendaciones de aplicación.

Si no puede secar la pulpa al sol antes de 15 días, realice su ensilaje para evitar la descomposición (Rodríguez-Valencia, 2023). El ensilaje conserva la pulpa por más tiempo y reduce su humedad a cerca del 70% (b.h.), lo que disminuye el tiempo de secado cuando posteriormente la lleve al secador. La pulpa ensilada puede retirarse de la estructura de ensilaje y secarse cuando disponga de tiempo y de secadores solares.

Tabla 1. Composición química aproximada de la ceniza de pulpa seca de café.

Nutrientes	Contenido masa%	Forma química	Contenido masa%
Potasio (K)	17,43%	K ₂ O	21,0%
Calcio (Ca)	12,86%	CaO	18,0%
Magnesio (Mg)	2,71%	MgO	4,5%
Fósforo (P)	1,40%	P ₂ O ₅	3,2%
Silicio (Si)	1,31%	SiO ₂	2,8%
Sodio (Na)	1,19%	Na ₂ O	1,6%
Hierro (Fe)	0,98%	Fe ₂ O ₃	1,4%
Aluminio (Al)	0,48%	Al ₂ O ₃	0,9%
Titanio (Ti)	0,12%	TiO ₂	0,2%
Manganeso (Mn)	0,08%	MnO	0,1%
Zinc (Zn)	0,04%	ZnO	0,05%
Estroncio (Sr)	0,03%	SrO	0,03%
Bario (Ba)	0,02%	BaO	0,02%
Metales pesados (Pb, Cd, Hg): no detectados		Pb, Cd, Hg: no detectados	

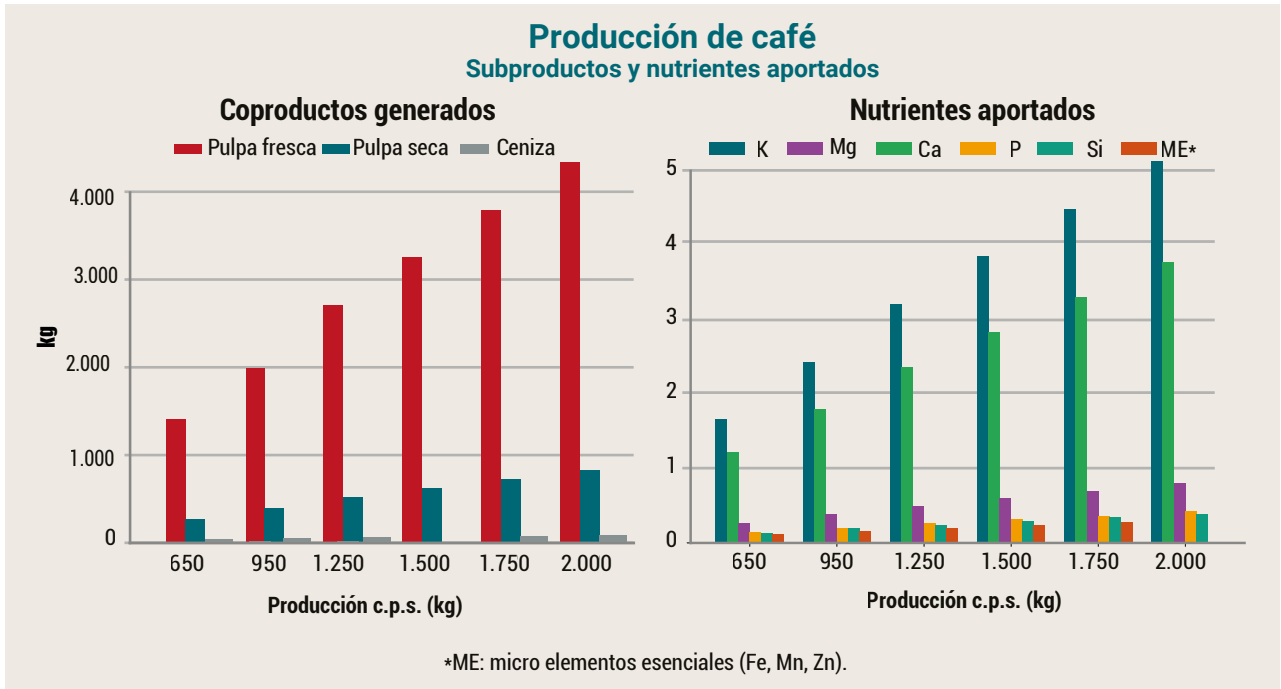
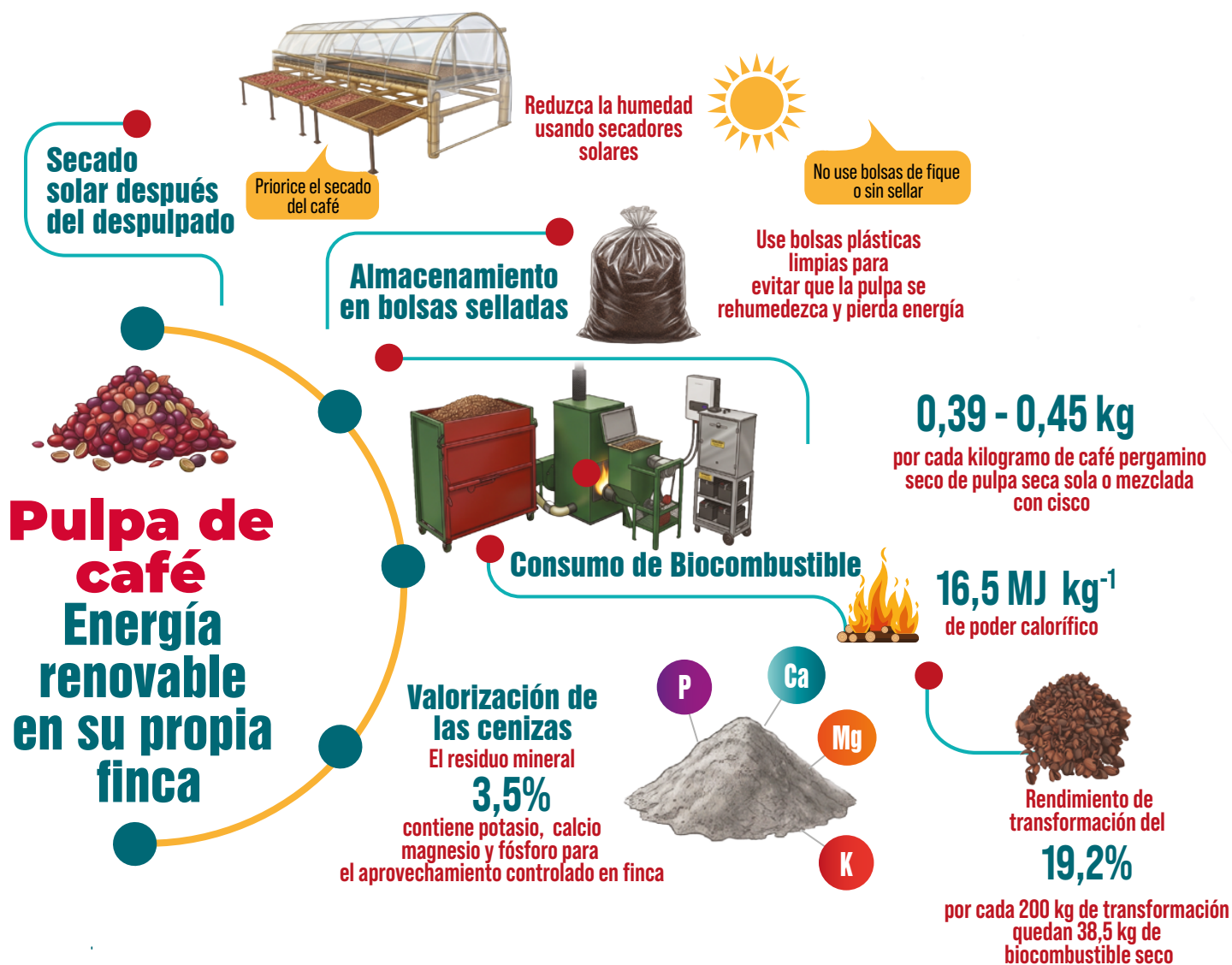


Figura 5. Cantidad de subproductos y nutrientes presentes en la ceniza generada en la combustión de la pulpa de café a partir de diferentes volúmenes de secado de café pergamino.



Familias caficultoras

El uso de la **pulpa de café secada al sol como biocombustible** constituye una alternativa sostenible, dado que permite aprovechar un subproducto generado en la misma finca para la producción de energía térmica en el secado mecánico del café. Su implementación puede contribuir a **reducir costos, mejorar la autonomía energética y promover el aprovechamiento integral de los subproductos del beneficio.**

Literatura citada

- Blandón, G., Rodríguez-Valencia, N., & Dávila, M. T. (1998). Caracterización microbiológica y físico-química de los subproductos del beneficio del café en proceso de compostaje. *Revista Cenicafé*, 49(3), 169–185. <http://hdl.handle.net/10778/753>
- Contreras-Trejo, J. C., Vega-Nieva, D. J., Heya, M. N., Prieto-Ruiz, J. A., Nava-Berúmen, C. A., & Carrillo-Parra, A. (2022). Sintering and Fusibility Risks of Pellet Ash from Different Sources at Different Combustion Temperatures. *Energies*, 15(14), 5026. <https://doi.org/10.3390/en15145026>
- Duque-Dussán, E., Bappah, M., Sanz-Urbe, J. R., & Nainggolan, E. A. (2025). Thermo-Chemical Characterization of Coffee Husk from a New Variety (Coffea arabica L. var. Cenicafé 1) for Biofuel Production. *Scientia Agriculturae Bohemica*, 1(56), 1–22. <https://doi.org/10.7160/sab.2025.560101>
- Montilla-Pérez, J., Arcila-Pulgarín, J., Aristizábal-Loaiza, M., Montoya, E. C., Puerta, G. I., Oliveros-Tascón, C. E., & Cadena, G. (2008). Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. *Avances Técnicos Cenicafé*, 370, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0370>
- Oliveros-Tascón, C. E., Sanz-Urbe, J. R., Ramírez, C. A., & Peñuela-Martínez, A. E. (2009). Aprovechamiento eficiente de la energía en el secado mecánico del café. *Avances Técnicos Cenicafé*, 380, 1-8. <https://doi.org/10.38141/10779/0380>
- Parra-Coronado, A., Roa-Mejía, G., Oliveros-Tascón, C. E., & Sanz-Urbe, J. R. (2017). Optimización operacional de secadores mecánicos para café pergamino. *Cenicafé*. https://publicaciones.cenicafe.org/index.php/libros_manuales/article/view/3245
- Peñuela-Martínez, A. E., Guerrero, A., & Sanz-Urbe, J. R. (2022). Cromacafé® Herramienta para identificar los estados de madurez de las variedades de café de fruto rojo. *Avances Técnicos Cenicafé*, 535, 1–8. <https://doi.org/10.38141/10779/0535>
- Rodríguez-Valencia, N. (2023). *Aplicación de la bioeconomía circular en el proceso de beneficio de café con cero residuos*. Cenicafé. <https://doi.org/10.38141/cenbook-0032>
- Twinomuhwezi, H., Wozeyi, P., Igwe, V. S., Amagwula, I. O., & Awuchi, C. G. (2021). Heat of Combustion of Coffee Pulp and Husks as Alternative Sources of Renewable Energy. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 3(2), 1-4. <https://doi.org/10.24018/ejfood.2021.3.2.241>

Esta investigación fue financiada y ejecutada, a través del Proyecto con el código POS103008 suscrito con la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (Cenicafé—Crossref Funder ID 100019597).

Autores

Eduardo Duque Dussan 
Investigador Científico I
<https://orcid.org/0000-0002-8045-6088>

Valentina Cruz-Ospina 
Asistente de Investigación hasta febrero de 2026
<https://orcid.org/0009-0008-7897-6632>

Nelson Rodríguez Valencia 
Investigador Científico III
<https://orcid.org/0000-0003-0897-4013>

Disciplina de Ingeniería

Hernán González Osorio 
Investigador Científico II
<https://orcid.org/0000-0001-5716-2172>
Disciplina de Suelos

Juan R. Sanz Uribe 
Investigador Científico III hasta abril del 2026
<https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>
Disciplina de Ingeniería

Centro Nacional de Investigaciones de Café.
Cenicafé
DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0591>



Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

Gerencia Técnica

Fondo Nacional del Café



ISSN-0120-0178

ISSN-2145-3691 (En línea)

Los trabajos suscritos por el personal técnico del Centro Nacional de Investigaciones de Café son parte de las investigaciones realizadas por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. Sin embargo, tanto en este caso como en el de personas no pertenecientes a este Centro, las ideas emitidas por los autores son de su exclusiva responsabilidad y no expresan necesariamente las opiniones de la Entidad.

Manizales, Caldas, Colombia - Tel. (606) 8500707
www.cenicafe.org



Licencia Creative Commons CC de Atribución - sin derivar - no comercial por la que este material puede ser distribuido, copiado y exhibido por terceros solo si se muestra en los créditos. No se puede realizar obras derivadas y no se puede obtener ningún beneficio comercial.