

Avances *Técnicos*

FEBRERO 2025

Duque - Dussán E. | Sanz - Uribe J. R.

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café

572

Secador Mixto: Integración de secado solar y mecánico para producción sostenible de café



Federación Nacional de
Cafeteros de Colombia

Para mejorar la eficiencia del secado solar se han desarrollado secadores con cubiertas transparentes que aprovechan el efecto invernadero para elevar las temperaturas internas (Kath et al., 2021). Cenicafé ha liderado la creación de sistemas como los secadores tipo túnel y parabólicos (Oliveros-Tascón et al., 2008, 2017; Ramírez-Gómez et al., 2002), que ofrecen protección contra el viento, la lluvia y los animales. Esto permite un mejor control del proceso de secado, reduciendo la pérdida de calor y manteniendo temperaturas más constantes, lo que mejora la calidad del café; sin embargo, estos secadores dependen de la radiación solar, limitando su uso nocturno o en días nublados, lo que puede extender los tiempos de secado y poner en riesgo la calidad del café (Schwarzmann et al., 2022).

Para abordar estas limitaciones, se han implementado secadores mecánicos que utilizan sistemas de calentamiento y ventiladores para forzar el paso de aire caliente a través del café, permitiendo reducir los tiempos de secado, independientemente de las condiciones climáticas. No obstante, los altos costos energéticos y la huella de carbono asociada representan barreras significativas para los pequeños productores (Borém et al., 2008).

En respuesta, Cenicafé ha desarrollado un secador solar mixto que combina energía solar y biomasa residual, junto con tecnología fotovoltaica para operar ventiladores, garantizando un secado continuo y eficiente del café de manera sostenible, adaptándose a las necesidades de los caficultores colombianos (Duque-Dussán et al., 2023). Esta innovación busca mejorar la eficiencia del secado, reducir costos y minimizar el impacto ambiental, beneficiando a los productores en su labor.

Secador solar mixto

El secador solar mixto fue diseñado con el objetivo de reducir el tiempo de secado del café al menos en un 40%, en comparación con los secadores tipo túnel convencionales, manteniendo una configuración fácil de integrar en los secadores ya existentes (Oliveros-Tascón et al., 2017). El flujo específico de aire es de $9 \text{ m}^3 \text{ min}^{-1}$ que corresponde al caudal óptimo para 90 kg de café pergamino seco (cps). Para el diseño de la parte del secado mecánico se utilizaron simulaciones de dinámica computacional de fluidos (CFD por sus siglas en inglés).

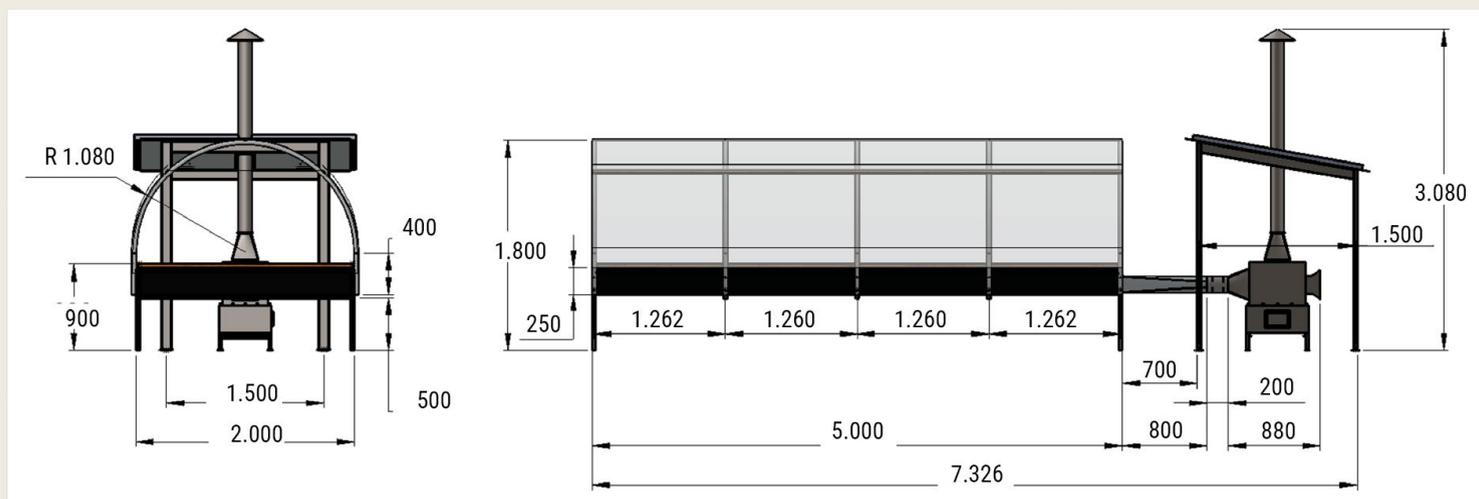


Figura 1. Diseño general del secador solar mixto, medidas en milímetros (mm).

Las simulaciones indicaron que el diseño con una cámara plénum bajo la malla de soporte del café, con una altura de 0,25 m, ofrece ventajas como la circulación de aire a baja velocidad y a una presión homogénea, favoreciendo un secado más uniforme.

Desarrollo de la cámara de secado y sistemas adicionales del secador solar mixto

Al secador solar tipo túnel tradicional (Oliveros-Tascón et al., 2006, 2008, 2017), se le añadió una estructura de acero perfilado de 0,05 m, para sostener la cámara plénum y evitar deformaciones.

Esta cámara fue construida con geomembrana de polietileno de alta densidad (HDPE) de 2 mm de espesor, lo que facilita una construcción ligera (Figura 1). El aire calentado por el intercambiador de calor es impulsado a la cámara plénum mediante un ventilador.

El quemador de biomasa fue diseñado para ser fácil de construir y manipular, utilizando troncos de zoca de café secos de 20-30 cm. La cámara de combustión tiene una pared de concreto refractario de 0,035 m para reducir pérdidas de calor. Los gases de combustión se evacúan por una chimenea, y antes de llegar al plénum, calientan el aire atmosférico en un área de transferencia de calor (Figura 2).

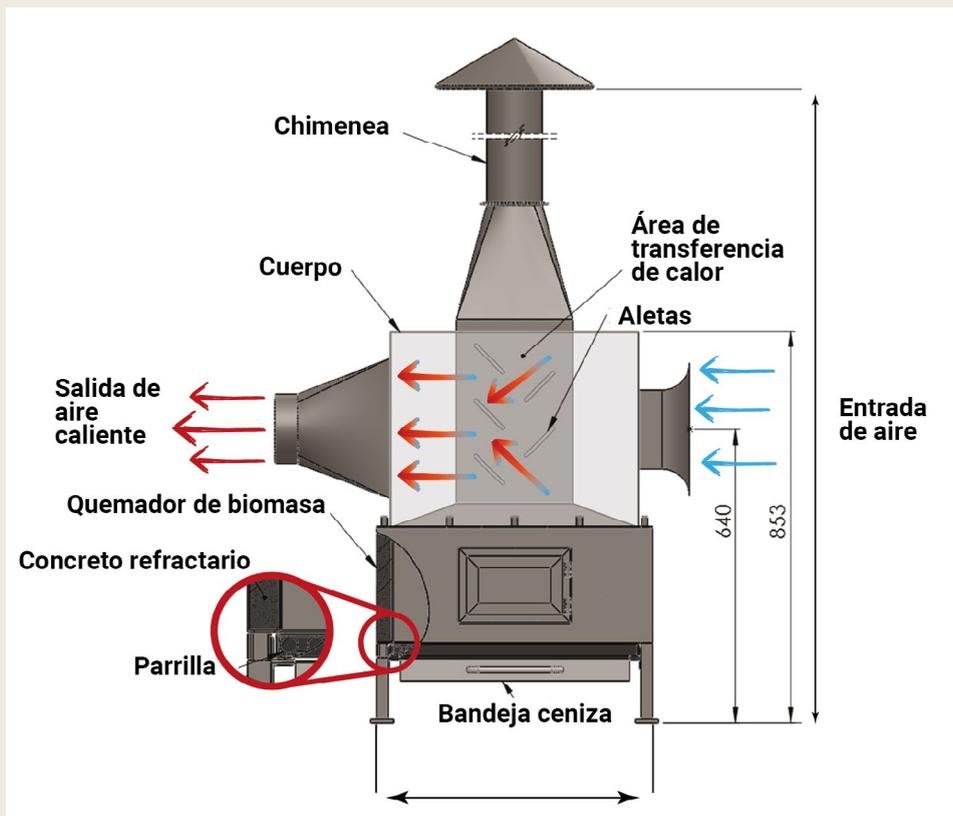


Figura 2. Diseño del intercambiador de calor, medidas en milímetros (mm).

El sistema de ventilación cuenta con un ventilador axial de 0,15 m, que distribuye el aire caliente de forma uniforme en la cámara plenum tras pasar por el intercambiador de calor. Se añadió una compuerta para permitir la entrada de aire ambiente durante el secado solar. El ventilador está protegido contra altas temperaturas y humedad. Además, el sistema fotovoltaico con dos paneles solares y una batería permite operar el secador durante la noche o en días de baja radiación solar.

Desempeño del secador

El secador fue probado en Cenicafé, en tres configuraciones diferentes (Tabla 1), entre septiembre y noviembre de 2022. Los experimentos se llevaron a cabo durante época de lluvias para evaluar su desempeño en condiciones climáticas críticas. En todos los experimentos se utilizó la variedad Cenicafé 1 (*Coffea arabica* L).

Tabla 1. Configuraciones evaluadas.

Etapa	C1	C2	C3	Testigo
Día (6:00 a 18:00)	Secado solar + Secado mecánico	Secado solar	Secado solar	Secado solar túnel
Noche (18:00 a 6:00)	Secado mecánico	Secado mecánico	N/A	N/A



Figura 3. Montaje final del secador mixto.

En la tercera configuración (C3) se evaluó el secado solar para analizar el impacto de la cámara plenum en el rehumedecimiento, limitando el contacto del aire ambiente con el café. Se comparó el secador mixto con un secador de túnel tradicional de igual

tamaño, bajo las mismas condiciones. La dinámica de humedad se midió mediante el método Gravimet para el secado solar (Jurado-Chaná et al., 2009), y se registró el consumo de madera de café en el calentador de aire de secado.

Características de la Configuración 1 (C1)

Eliminación de humedad. La C1 secó rápidamente durante el día y más lento por la noche, pero mejor que el secador testigo (Figura 4).

Tiempo de secado. El secador mixto tardó 75 horas reduciendo el tiempo de secado en un 70,5% frente a las 254 horas del testigo.

Capacidad. En el tiempo que tardó el testigo, el secador mixto procesaría 3,4 lotes, aumentando el rendimiento del secado.

Operación continua. El secador mixto funciona de noche, evitando el rehumedecimiento del grano durante este período.

Eficiencia energética. El consumo de biomasa real es de 1,8 kg h⁻¹.

Control de humedad relativa. El secador mixto mantuvo hasta 20% menos humedad relativa del aire que el testigo.

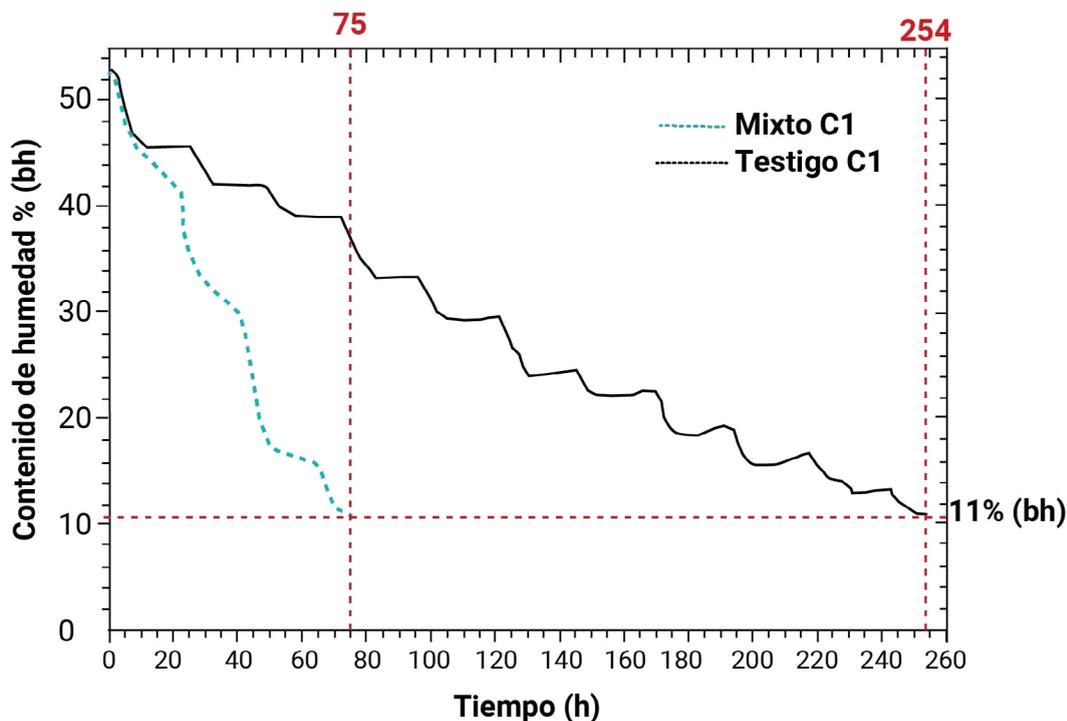


Figura 4. Curvas de secado de la Configuración 1.

Características de la Configuración 2 (C2)

Reducción de tiempo. Al operar el quemador y el ventilador de noche, el secado fue 45,8% más rápido, reduciéndolo a 113 horas (Figura 5). Mientras que el secado del testigo terminó en 247 horas.

Curva de secado uniforme. La convección natural (día) y forzada (noche) eliminaron la humedad de manera constante.

Perfil térmico. El secador mixto mantuvo temperaturas promedio más estables y altas (38°C) que el testigo, optimizando el uso energético.

Eficiencia energética. Ligeramente superior a la configuración C1 con un consumo de biomasa de 1,9 kg h⁻¹.

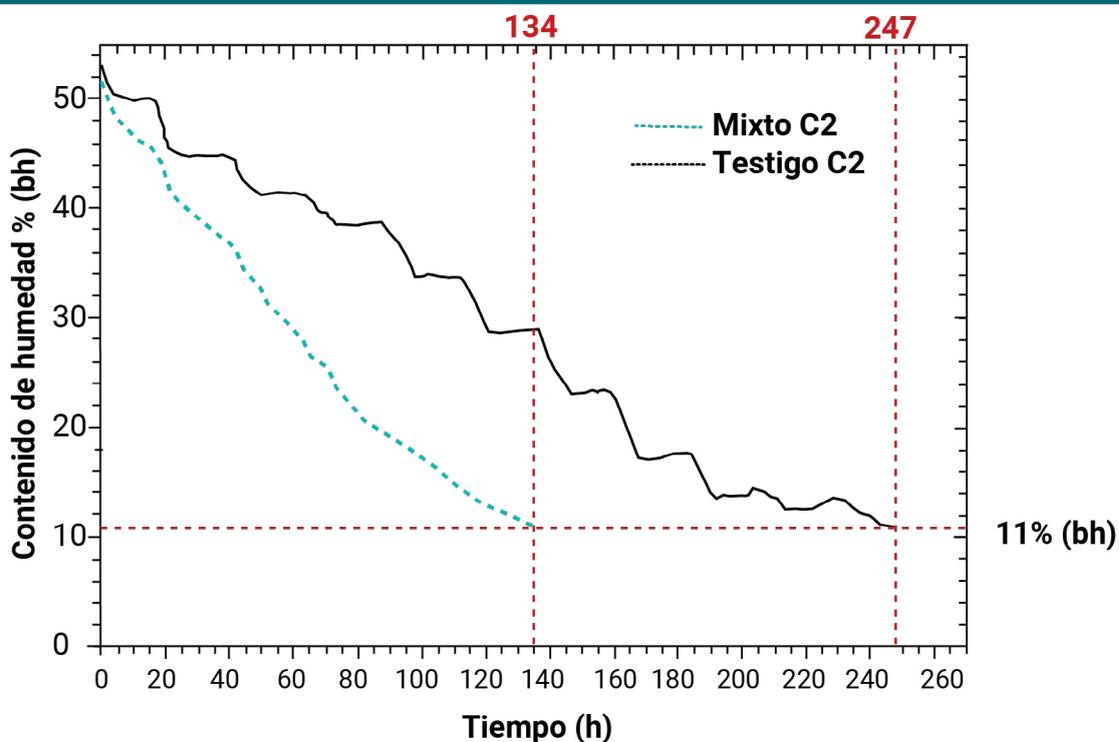


Figura 5. Curvas de secado de la Configuración 2.

Características de la Configuración 3 (C3)

Tiempo de secado. El secador mixto, utilizando solamente su componente solar (C3) tardó 200 horas en completar el proceso, 55 horas más rápido que el testigo.

Aislamiento efectivo. La cámara plenum aisló el grano del aire frío nocturno, acelerando el secado respecto al testigo.

Evita el rehumedecimiento. La tasa de remoción de humedad en el secador mixto (C3) fue mayor que en su testigo.

Mayor homogeneización. La cámara plenum mantuvo una humedad relativa de aire uniforme, acelerando el secado y reduciendo la exposición al aire húmedo.

Recuerde que

El secado en menor tiempo reduce el riesgo de contaminación por microorganismos, preservando la calidad del café.

Puede adaptar sus equipos, triplicando la capacidad de secado con una inversión moderada, sin ampliar el área de secado.

El secador mixto usa energías renovables, aprovechando biomasa y paneles solares para operar el ventilador en noches o días lluviosos, mejorando la sostenibilidad.

Familias caficultoras

La finca cuenta con fuentes de energía que pueden aprovecharse para un secado eficiente del café. El secador **mixto, optimiza el proceso de secado y promueve una producción más sostenible y económica**. Invertir en estas tecnologías representa mayor eficiencia y un compromiso con la sostenibilidad del sector.



Secado mecánico

- ✓ Secado activo: rápido
- ✓ Requiere poco espacio
- ✓ Alta tasa de secado
- ✓ Independiente del clima

Costoso, más complejo

Uso de combustibles fósiles



Secado solar

Secado pasivo: lento
Alta demanda de área de secado
Baja tasa de secado
Dependiente del clima

- ✓ Fácil operación y mantenimiento
- ✓ Común en el ámbito cafetero



Secado mixto

- ✓ Secado activo: rápido
- ✓ Alta tasa de secado
- ✓ Diferentes configuraciones
- ✓ Asequible y sostenible
- ✓ Adaptable a tecnologías anteriores

Literatura citada

- Borém, F. M., Marques, E. R., & Alves, E. (2008). Ultrastructural analysis of drying damage in parchment Arabica coffee endosperm cells. *Biosystems Engineering*, 99(1), 62–66. <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2007.09.027>
- Duque-Dussán, E., Sanz-Uribe, J. R., & Banout, J. (2023). Design and evaluation of a hybrid solar dryer for postharvesting processing of parchment coffee. *Renewable Energy*, 215(March), 118961. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118961>
- Jurado-Chaná, J. M., Montoya-Restrepo, E. C., Oliveros-Tascón, C. E., & García-Alzate, J. (2009). Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. *Revista Cenicafé*, 60(2), 135–147. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc060%2802%29135-147.pdf>
- Kath, J., Mittahalli Byrareddy, V., Mushtaq, S., Craparo, A., & Porcel, M. (2021). Temperature and rainfall impacts on robusta coffee bean characteristics. *Climate Risk Management*, 32(October 2020), 100281. <https://doi.org/10.1016/j.crm.2021.100281>
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez-Gómez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., & Peñuela-Martínez, A. (2008). Secador parabólico mejorado. *Cenicafé - Centro Nacional de Investigaciones de Café, Avances Técnicos*, 376(4), 8. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0376.pdf>
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez-Gómez, C. A., Sanz-Uribe, J. R., & Peñuela-Martínez, A. (2006). Secador Solar de Túnel para Café Pergamino. *Cenicafé - Centro Nacional de Investigaciones de Café, Avances Técnicos*, 353(353), 8. <https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0353.pdf>
- Oliveros-Tascón, C. E., Ramírez-Gómez, C. A., Tibaduiza-Vianchá, C. A., & Sanz-Uribe, J. R. (2017). Construcción de secadores solares tipo túnel con nuevos materiales. *Cenicafé - Centro Nacional de Investigaciones de Café, Avances Técnicos*, 482, 8.
- Ramírez-Gómez, C. A., Oliveros-Tascón, C. E., & Roa-Mejía, G. (2002). Construya El Secador Solar Parabólico. *Cenicafé - Centro Nacional de Investigaciones de Café, Avances Técnicos*, 305, 1–8.
- Schwarzmann, E. T., Washington, M. P., & Rao, N. Z. (2022). Physicochemical Analysis of Cold Brew and Hot Brew Peaberry Coffee. *Processes*, 10(10), 1989. <https://doi.org/10.3390/pr10101989>

Autores

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

Juan R. Sanz Uribe 
Investigador Científico III
<https://orcid.org/0000-0001-9875-9426>

Disciplina de Poscosecha

DOI (Digital Object Identifier)
<https://doi.org/10.38141/10779/0572>



Edición

Sandra Milena Marín López

Fotografías

Archivo Cenicafé

Diagramación

Carmenza Bacca Ramírez

Imprenta

Gerencia Técnica Fondo Nacional del Café

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de 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.