



AVANCES TÉCNICOS

366

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Diciembre de 2007

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CALÓRICA DE ESTUFAS CAMPESINAS PARA EL SECADO DEL CAFÉ

Jairo R. Álvarez- Hernández*; Diana Goretty Martínez-Tovar**

En Colombia la producción cafetera está representada en más del 60% por los productores menores de 1.000 @ de c.p.s./año, con un promedio nacional por finca de 1,61 hectáreas en café (4). Según Chamorro (1), más del 65% de los productores utilizan secado natural y aprovechan la energía solar y del aire, al emplear dispositivos como: elbas (27,03%), casa elbas y patios (22,97% cada una), carros (20,27%), marquesinas (4,05%) y otras instalaciones (2,70%).

* Investigador Científico III, Ingeniería Agrícola hasta el año 2000, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Chinchiná, Caldas, Colombia.

** Ingeniero Agrícola, Universidad Surcolombiana.



De acuerdo con el SICA (4), el 40% de las Unidades de Producción Cafetera (UPAS)¹ tienen patios de secado y el 95% de este porcentaje los utiliza; sin embargo, el 36% considera insuficiente las áreas disponibles para este secado y como alternativa el productor contrata la labor del secado para reducir el riesgo de pérdidas. Otros, en cambio venden el café seco de agua (1,1%) y algunos mojado (0,6%), comercialización que en los últimos años se ha incrementado, debido a la falta de equipos mecánicos que les permita secar el café y obtener con ello mayor rentabilidad.

La eficiencia para el aprovechamiento de la energía solar es muy baja, aproximadamente entre el 7 y el 13%, esto se explica porque la radiación solo la capta una fracción pequeña de los granos, y además, porque la superficie del pergamino no es un captador de energía solar muy eficiente (7).

Los fenómenos de transferencia de energía y de humedad en el secado solar son complejos ya que en éstos influyen variables como la intensidad de la radiación solar (un buen día de sol tiene una intensidad en la superficie terrestre de 1 kJ/s-m², y en 10 horas de sol se tendrían disponibles 36.000 kJ/m²), la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del aire, el contenido de humedad y el espesor de la capa de granos, caso en el cual interviene la frecuencia utilizada para revolver la masa de granos (2). López (5) afirma que para secar el café mojado hasta “seco de agua” (40 a 48% base húmeda) se necesitan aproximadamente dos horas de sol y para llevarlo desde este punto hasta pergamino seco de trilla se requieren entre 40 y 50 horas de sol. Así mismo, recomienda una densidad de carga de 24 kg de café húmedo por metro cuadrado, con un espesor de la capa de grano de 3,0 cm y revolver el grano mínimo tres veces al día.

De acuerdo con Farfán (3), el promedio de la producción de madera de un cafetal con una densidad de siembra de 5.000 árboles/ha es de 38,5 m³/ha, es decir, 30,53 t/ha de madera fresca ó 17,43 t/ha de madera seca. Con base en el poder calorífico, 1 kg de carbón mineral equivale aproximadamente a 2 kg de leña, es así como la energía proveniente de la madera de esta hectárea de café sería equivalente a 9,68 toneladas de carbón.

Por tal motivo la actividad del zoqueo, aparte de ser una necesidad en la vida del cultivo, es a la vez una fuente generadora de energía. De acuerdo con lo anterior y sabiendo que para el secado de una arroba de café se requieren cerca de 4 kg de carbón, con la madera obtenida del zoqueo pueden secarse unas 2.420 arrobas de café, lo que equivale a 3,22 veces la producción de la plantación en cuestión. A lo anterior se añade que en promedio una zoca pesa 3,5 kg, por lo que con unos 2,3 troncos se seca una arroba de café.

Ante limitaciones como la escasa disponibilidad de áreas para el secado natural (sol y aire) y en otros casos la variación del clima, la alta precipitación y nubosidad, el costo de la mano de obra y el tiempo de secado prolongado, es conveniente pensar en sistemas mecánicos (convección forzada) que reemplacen el secado natural, y con los cuales se obtienen ventajas como la reducción de la mano de obra, un secado más eficiente, la disminución del tiempo para el secado, el manejo y la disponibilidad del recurso económico y de volúmenes importantes de café en contenedores reducidos sin riesgo de contaminación, entre otros.

En las fincas cafeteras se emplean para la preparación de los alimentos estufas que usan como combustible generalmente leña y en ocasiones, carbón mineral. En dichas cocinas se aprovecha una pequeña parte de la energía calórica en la preparación de alimentos, mientras que la otra parte de la energía se desperdicia al descargarla en el ambiente. Además, estas estufas permanecen encendidas aún durante la noche cuando no se cocinan alimentos, con el propósito de facilitar su encendido al día siguiente.

En estudios realizados en Cenicafé, Martínez (6) demostró que si se utiliza con la estufa secadora para café “Escarfé” parte de la energía térmica que no se aprovecha en las estufas campesinas en la preparación de alimentos, se tiene una alternativa tecnológica para el secado del café, apropiada para pequeños productores que actualmente secan su producto con limitaciones en los sistemas naturales existentes. Así mismo, esta alternativa es aplicable para productores mayores en las épocas de baja producción y en el secado de pasillas.

¹UPA: Es una unidad económica que tiene más de 400 plantas de café o más de un cuarto de hectárea sembrada en café (4).

Descripción del equipo

El equipo de secado “Escafé” (Estufa secadora para café) (Figura 1) consta de:

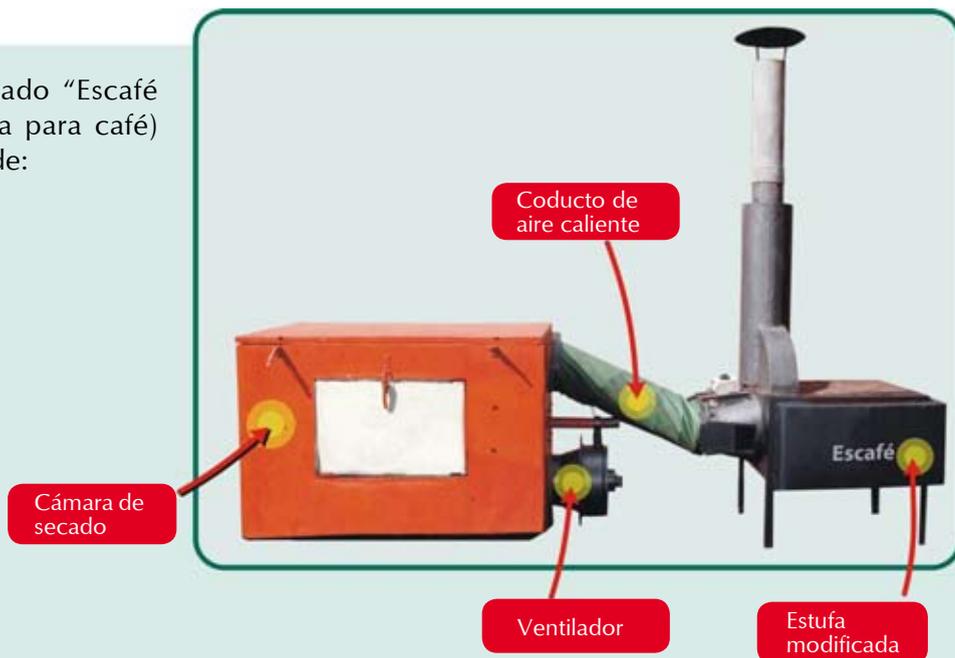


Figura 1. Elementos del equipo de secado “Escafé”.

Una estufa campesina metálica modificada, de cuatro fogones de hierro, que hace las veces de hogar de combustión (fogón) y de intercambiador de calor para el “Escafé”. La modificación consiste en dos aditamentos que permiten conducir y calentar el aire ambiente. El primero es una “camisa” que recubre dos de las paredes de la estufa, la lateral y la posterior, para aprovechar el calor transmitido por ellas. El segundo es un conducto o carcasa que recubre la chimenea, la cual posee cuatro aletas longitudinales. El aire conducido a través de la camisa y la carcasa se calienta por el calor disipado en las paredes lateral y posterior, así como por las aletas y la cara interior del conducto de la chimenea.

El aire caliente se lleva desde la estufa hasta la cámara de secado por un **conducto** flexible formado por una espiral metálica recubierta con lona impermeable, con un anillo de fijación en cada extremo para acoplarlo por un lado a la cámara de secado y por el otro a la transición circular (forma de embudo). Dicha transición está en una de sus caras laterales, y cuenta con un pequeño **ventilador** auxiliar que suministra aire del ambiente al aire de secado para el control de su temperatura

antes de entrar en la cámara de secado. La **cámara de secado** tiene un área de 1 m^2 , una altura de 1 m , con capacidad para $10 @$ de c.p.s./tanda, y puede ser de madera compactada (triplex o similar) o metálica. La masa de granos se ubica sobre una malla metálica (tipo cafetera) a $0,30 \text{ m}$ del piso de la cámara y el área de contacto entre el café y la madera está recubierta con lámina de aluminio calibre 33 hasta una altura de $0,40 \text{ m}$ desde dicha malla, para evitar el deterioro de ella por la humedad del café y el riesgo de contaminación del grano. En una de las caras laterales de la cámara se disponen dos orificios que permiten la entrada del aire caliente y la salida del aire húmedo, ubicados por encima y por debajo de la capa de granos. El ventilador es de bajo peso y cuenta con un dispositivo que facilita su traslado de uno a otro orificio para lograr la inversión del flujo de aire.

La temperatura en el “Escafé” se controla por medio de un termostato mecánico de bulbo con rango de 30 a 90°C , el cual actúa sobre un ventilador axial de $4''$ de diámetro, caudal de $1,15 \text{ m}^3/\text{s}$, caída de presión de 10 mm c.a. y un motor de $0,187 \text{ kw}$ ($1/4 \text{ HP}$) a 110v ,

1,4 A girando a 1.700 r.p.m. El sensor localizado en el conducto de aire, determina su temperatura; si llega a 55°C activa el ventilador el cual toma aire ambiente y lo mezcla con el aire caliente que va por el conducto y disminuye así su temperatura. Cuando llega a 45°C, el ventilador auxiliar se apaga.

Evaluación del desempeño del equipo “Escafé”

El equipo se evaluó con dos combustibles y dos métodos de aprovechamiento de energía (tratamientos). Como combustibles se utilizaron leña de café y carbón mineral (hulla). Los métodos de aprovechamiento de la energía fueron: 1) Cuando el calor fue proporcionado empleando como intercambiador de calor la chimenea y las paredes (lateral y posterior) de la estufa en forma conjunta, y 2) Cuando el calor fue proporcionado utilizando solo la chimenea como intercambiador de calor (Tabla 1).

Para cada tratamiento se realizaron cinco repeticiones, cada una con un testigo de café secado al sol. La muestra en cada una de las pruebas estuvo constituida por 240 kg de café de la misma procedencia.

El secado del café en el equipo se realizó mientras se operaba la estufa campesina como es usual en la finca cafetera, es decir, 15 horas durante el día mientras se preparan los alimentos (con suministro de combustible) y 9 horas sin suministro de combustible, durante la noche.

Energía aprovechada en la preparación de alimentos.

De la energía aportada por el combustible (carbón o leña) se aprovecha en promedio un 15% para la preparación de alimentos, con un coeficiente de variación del 23,04%.

La energía que no se utiliza en la preparación de alimentos representa en promedio el 85% de la energía que aporta el combustible; de ésta se utilizó durante el proceso de secado de café el 32,55% (C.V. 4,08%) al emplear el secador “Escafé” para 10 @ de c.p.s.

Desempeño energético del secador “Escafé”. La eficiencia térmica se calculó como la relación entre la energía entregada por el combustible y la masa de agua evaporada (a.e.) de los granos de café, y se tuvo en cuenta que de la energía que aporta el combustible sólo el 28% se utiliza para el secado de café. La eficiencia térmica de secado fue de 7.297 kJ/kg a.e.

Tabla 1. Tratamientos aplicados, combustibles e intercambiador.

Tratamiento	Combustible	Intercambiador de calor
1	Leña	Chimenea
2	Leña	Chimenea y paredes
3	Carbón	Chimenea
4	Carbón	Chimenea y paredes

Tabla 2. Tiempo de secado y consumo de combustible por tratamiento.

Tratamiento	Tiempo secado en el “Escafé”*		Tiempo secado del testigo		Consumo de combustible	
	Promedio (días)*	C.V. (%)	Promedio (días)*	C.V. (%)	Promedio (kg)*	C.V. (%)
1	3,01	4,30	10,93	22,45	185,80	7,42
2	2,98	5,00	9,48	12,85	180,40	7,91
3	3,05	2,18	9,48	30,47	101,20	3,98
4	2,95	3,79	9,30	20,60	91,00	5,60

* Según prueba t al 5%.

Tiempo de secado y consumo de combustible. En la Tabla 2 se observa para cada tratamiento el promedio del tiempo con su correspondiente testigo y el consumo de combustible.

En promedio, el secado con el equipo “Escafé ” se demoró tres días y el testigo o secado natural diez días (en época seca con alta radiación solar y baja

nubosidad). Hubo menor consumo de combustible con el carbón mineral debido a su mayor poder calorífico.

Contenido de humedad. Las Figuras 2, 3, 4 y 5 representan las curvas típicas de secado de capa fija profunda, y en ellas se observa el comportamiento de la humedad en un secador intermitente (debido a las horas sin suministro de combustible).

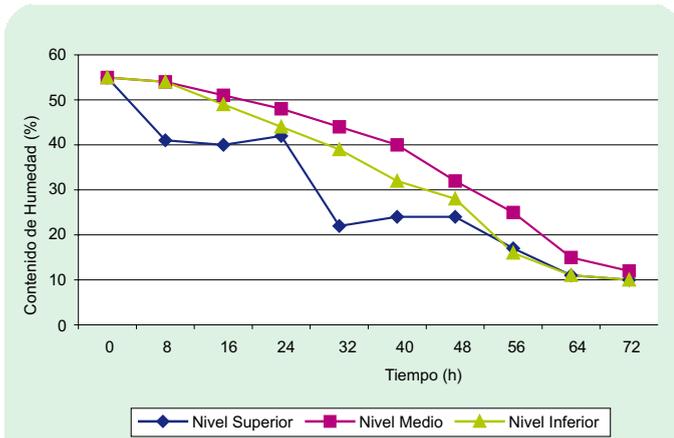


Figura 2. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 1.

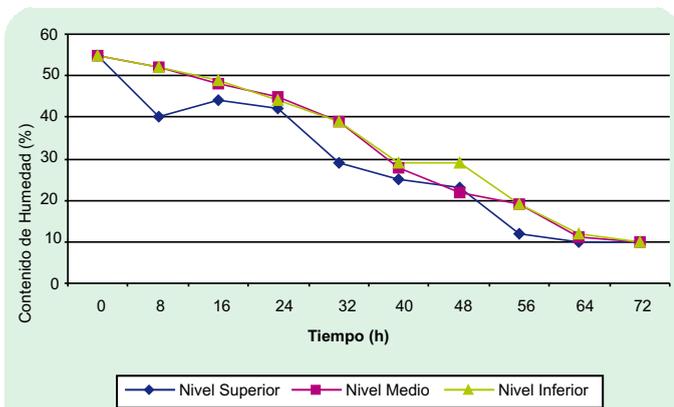


Figura 4. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 3.

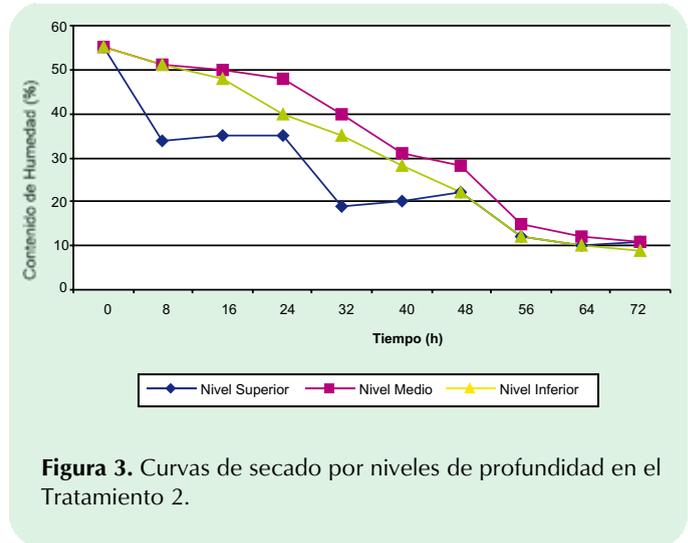


Figura 3. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 2.

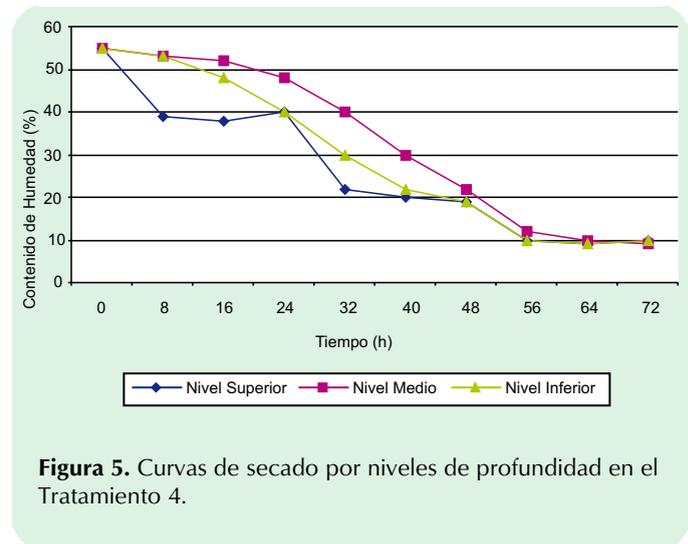


Figura 5. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 4.

Las curvas de secado de las capas de grano del nivel superior, que recibieron inicialmente el aire caliente, muestran pendientes pronunciadas lo que indica una alta tasa de secado, y al realizar la inversión del flujo del aire la tasa de secado tuvo una tendencia a cero; en el tiempo transcurrido mientras se suspendió el suministro de combustible y se apagó el ventilador, el grano redistribuyó y uniformizó su humedad debido al proceso de difusión que ocurre en su interior.

El segundo día se observó un comportamiento igual, solo que al inicio del proceso la tasa de secado mostró una pendiente igual o mayor debido al fenómeno de difusión de la humedad hacia la superficie del grano, porque se facilita la evaporación de la misma. Al tercer día la tasa de secado disminuyó y mostró una tendencia a cero al final del secado, similar a los otros dos niveles, debido a que el grano en ese momento tenía un contenido de humedad bajo lo que hace más difícil su evaporación.

La variación del contenido de humedad del nivel inferior con respecto al tiempo, tuvo un comportamiento decreciente uniforme y constante con respecto al nivel superior; sin embargo, sus humedades se igualaron al terminar cada día de secado.

La variación del contenido de humedad del nivel medio con respecto al tiempo tuvo valores mayores que los otros dos niveles, lo cual es característico de los sistemas de secado estático con inversión del flujo de aire. Inicialmente la tasa de secado fue pequeña, pero se incrementó paulatinamente debido a que el aire proporcionó un mayor potencial de secado ocasionado por la disminución del contenido de humedad del grano en los niveles extremos.

Temperatura de secado. En la Tabla 3 se observan los promedios de las temperaturas de secado en los períodos con y sin combustible.

El promedio de la temperatura de secado para todos los tratamientos durante las horas de operación usual de la cocina varió entre 45 y 50 °C; durante el proceso de secado con carbón mineral, se demoró más tiempo en bajar la temperatura del aire, debido a que después de suspender la alimentación del combustible sus residuos conservan energía por más tiempo.

Calidad en taza. Los resultados obtenidos (prueba t al 5%) indican que el 62% de calificaciones de los tratamientos y el 69% de las calificaciones del testigo recibieron valores iguales o por encima de 6 (tazas aceptables), los cuales determinan buena calidad en taza. No hubo diferencias estadísticas entre los tratamientos.

Costo de secado. El costo del combustible no se tuvo en cuenta para el análisis, ya que es el mismo que se utiliza para preparar los alimentos.

El tiempo dedicado por un operario para el manejo del secador fue de tres horas, y en él se incluyeron el transporte y la descarga del café (1 ½ h), la revisión y el cambio de flujo (1 h) y la limpieza del equipo (½ h).

El valor del mantenimiento realizado en un año fue el equivalente a cuatro jornales y lo realizó el personal de la finca. La cantidad de café beneficiado en el año se estimó en 300 @ c.p.s.

Los costos fijos incluyen solamente los valores de depreciación para la cámara de secado, el ventilador, el conducto y las modificaciones de la estufa.

La diferencia entre secar 300 @ de c.p.s. en un año, al emplear el servicio de secado en el pueblo y al utilizar el equipo "Escafé" es del orden del 44%, a favor de este último, debido al combustible y el flete, principalmente.

Tabla 3. Temperatura media de secado, períodos con y sin combustible.

Tratamiento	Con combustible**		Sin combustible***	
	(°C)	C.V. %	(°C)	C.V. %
1	48,86*	14,93	22,22*	14,47
2	49,72	14,18	22,17	12,31
3	46,83	15,01	25,06	10,78
4	47,78	13,80	24,99	9,75

* Según prueba f

**Secado con operación de la estufa (cocinando).

*** Secado sin operación de la estufa (sin cocinar)

Operación

En la estufa se enciende el combustible y seguidamente, por la compuerta superior se carga la cámara de secado con el café lavado o con café seco de agua, hasta una altura de 30 centímetros (245 kg de café lavado). Se deja pasar el aire caliente por la masa de granos, de abajo hacia arriba.

Después de 8 ó 10 horas, es posible observar una especie de “manchas” de humedad sobre la capa de granos, y en este momento debe invertirse la dirección del flujo de aire de arriba hacia abajo, cambiando de posición el ventilador con el extremo del conducto de aire y se cierra la compuerta superior.



Para ello, se debe aflojar y retirar el tornillo de la abrazadera del conducto.



El ventilador se aparta del aro que lo soporta en el orificio inferior de la cámara, se gira sobre su eje de soporte.



y luego, se ubica en el aro superior de la cámara.

Después se coloca el extremo del conducto en el orificio inferior y se ajusta el tornillo del anillo.



Todo dispuesto, se continúa con el secado del café.



La inversión del flujo del aire se repite cada 10 horas hasta que el café tenga un contenido de humedad entre el 10 y 12 % b.h. Finalmente, se retira el café por la compuerta del frente de la cámara.

Literatura Citada

1. CHAMORRO T., G.E. Evaluación técnica y económica del beneficio para detectar fallas como causales de la posible presencia de defectos en el café colombiano. Manizales, Fundación Universitaria de Manizales, 1991. 110 p. (Tesis: Economista)
2. ESTRADA, S. M.; PINEDA, A.; VÉLEZ, J. F. Diseño, construcción y evaluación de una secadora de café con recirculación de aire. Medellín, Universidad Pontificia Bolivariana, 1993. 208 p. (Tesis: Ingeniero Mecánico).
3. FARFÁN V., F. El zoqueo del café conserva el bosque nativo. Avances Tecnológicos No. 209:1-4. 1994.
4. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. BOGOTÁ. COLOMBIA. Sistema de Información Cafetera. Encuesta Nacional Cafetera SICA. Estadísticas Cafeteras. Informe Final. Bogotá, FNC, 1997. 178 p.
5. LÓPEZ A., M. Café bien beneficiado, buen negocio para usted y prestigio del café colombiano. Bogotá, FNC, 1960. 11 p.
6. MARTÍNEZ T., D.G. Aprovechamiento de la energía calórica no utilizada en las estufas campesinas, para el secado mecánico del café. Neiva Universidad Surcolombiana, 2000. 90 p. (Tesis: Ingeniería Agrícola)
7. RIVERA, O. L., VÉLEZ, P. A. Evaluación de una secadora de café de 12 arrobas (para pequeños cafeteros). Medellín, Corporación Universitaria Lasallista, 1997. 166 p. (Tesis: Ingeniero de Alimentos).

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.

Cenicafé
Centro Nacional de Investigaciones de Café
"Pedro Uribe Mejía"

Chinchiná, Caldas, Colombia
Tel. (6) 8506550 Fax. (6) 8504723
A.A. 2427 Manizales
www.cenicafe.org
cenicafe@cafedecolombia.com

Edición: Sandra Milena Marín López
Fotografía: Gonzalo Hoyos S.
Diagramación: María del Rosario Rodríguez L.
Impresión: Feriva S.A.