



AVANCES TÉCNICOS

380

Cenicafé

Gerencia Técnica / Programa de Investigación Científica / Febrero de 2009

APROVECHAMIENTO EFICIENTE DE LA ENERGÍA EN EL SECADO MECÁNICO DEL CAFÉ

Carlos E. Oliveros Tascón*; Juan R. Sanz Uribe*; Cesar A. Ramírez Gómez*; Aída E. Peñuela Martínez*

El secado en silo es una alternativa apropiada cuando el flujo de café y las condiciones climáticas del lugar no permiten emplear secadores solares en forma económica y segura. De acuerdo con Duque et al. (2), el promedio del costo de secado de café asciende a \$ 751,8 por arroba (@) de café pergamino seco (c.p.s.). Para su disminución debe darse especial énfasis a la selección de la tecnología, al manejo del equipo y al combustible a utilizar, el cual representa en promedio el 75% de los costos del secado en silos (2).

Un secador mecánico consta de una, dos o tres cámaras con piso perforado, donde se deposita el café, un calentador del aire de tipo indirecto, un ventilador que entrega el caudal de aire para el secado del café y un dispositivo para el suministro de combustible (Carbón, cisco, o madera) (Figura 1). Adicionalmente, cuenta con dispositivos como termostato y termómetro para lograr que en secadores de capa fija, la temperatura del aire de secado se mantenga en el rango adecuado para café, entre 48 y 52°C (14).

*Investigador Principal, Investigador Científico II, Investigador Científico I y Asistente de Investigación. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafe. Chinchiná, Caldas, Colombia.

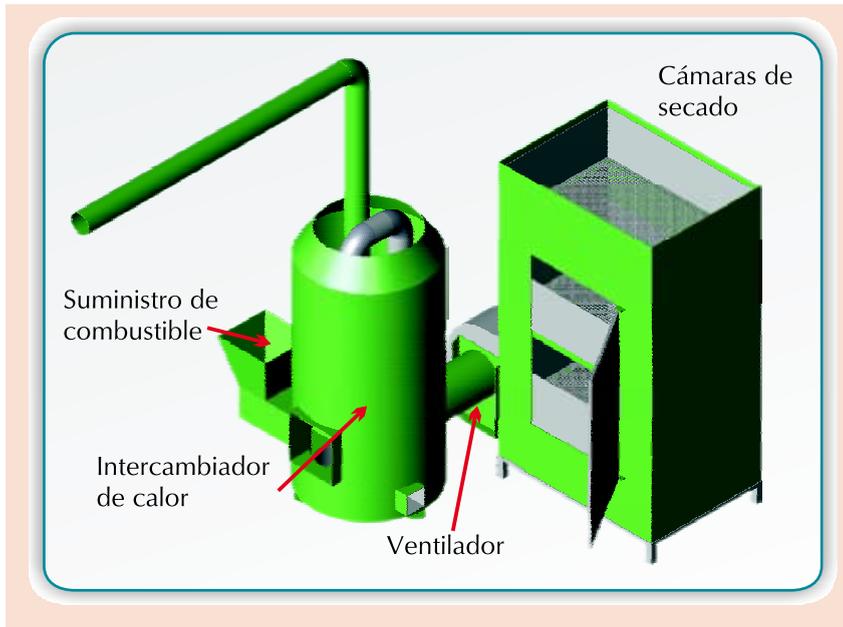


Figura 1. Componentes de un secador mecánico.

Tecnologías para el secado mecánico del café

Los secadores más utilizados para el café en Colombia son los de capa fija, donde solamente se invierte la dirección del flujo de aire (Figura 2a). También se emplean secadores de capa móvil, donde ésta se invierte al pasarla de una cámara a la siguiente, localizada en un plano inferior (Figura 2b). Además hay secadores con agitación de la capa mediante un dispositivo o brazo que gira a baja velocidad (4 a 6 rpm) para ayudar a mejorar la uniformidad final de la humedad del café (Figura 2c).

El secado es considerado una de las etapas del beneficio del café en la cual se genera mayor cantidad de defectos en calidad física y en taza. De acuerdo con investigaciones realizadas por Pino (13), defectos como granos veteados y cristalizados se observan con mayor frecuencia cuando la temperatura del aire de secado es superior a 50°C. El

caudal de aire también tiene gran incidencia tanto en el tiempo de secado como en la uniformidad de la humedad del producto al final del proceso, por lo que se recomienda utilizar entre 98 y 102 m³/min/t de c.p.s., para que el tiempo de secado no supere las 24 h, cuando el total de las alturas de las capas suma entre 70 y 75 cm (11, 12).

Para calentar el aire de secado se utilizan diferentes combustibles, principalmente carbón mineral (hulla) y la cascarilla o cisco del café. En ocasiones también se emplea la biomasa disponible en la finca como tusas de maíz y leña de café (resultante del zoqueo), entre otros. En la Tabla 1 se presenta el poder calorífico de algunos combustibles utilizados en el secado del café y de otros materiales agrícolas. Se



Figura 2. Tecnologías utilizadas para el secado de café en Colombia. **a.** secador con compuertas para invertir la dirección del flujo del aire; **b.** secador de dos pisos; **c.** secador con agitador mecánico de los granos.

Tabla 1. Poder calorífico de combustibles utilizados en el secado del café y de otros productos agrícolas.

Combustible		Poder calorífico		Fuente
		kJ/kg	kJ/m ³	
Cascarilla de café		17.936		Roa <i>et al.</i> (14)
Tusa de maíz	20% humedad	15.195		CLAAR II <i>et al.</i> (1)
	30% humedad	13.348		CLAAR II <i>et al.</i> (1)
Carbón vegetal		27.450		CLAAR II <i>et al.</i> (1)
Biogás			17.086	CLAAR II <i>et al.</i> (1)
Leña - 20% de humedad		15.412		CLAAR II <i>et al.</i> (1)
Hulla (antracita)		33.440		Roa <i>et al.</i> (14)

observa que la cascarilla del café y la leña son combustibles importantes energéticamente para el secado. En efecto, por cada 2 kg de cascarilla de café y 2,3 kg de leña se obtiene la energía equivalente a la de 1 kg de carbón hulla (antracita), también conocido como carbón mineral.

Un intercambiador de calor o generador de aire caliente es el dispositivo donde se convierte la energía química del combustible en térmica, sin contaminar el aire

de secado con los gases generados durante la combustión.

Cuando se selecciona un intercambiador de calor, además de tener en cuenta su eficiencia para convertir la energía química del combustible en energía térmica para calentar el aire de secado, se debe considerar la resistencia que ofrece al paso del aire, la cual depende de su diseño, principalmente de su geometría y dimensiones internas. Un intercambiador de calor

debería presentar simultáneamente eficiencia térmica mayor al 50% y resistencia 50% menor a la ofrecida por la capa de granos a secar. Adicionalmente, debe fabricarse con materiales de costo moderado y que aseguren una vida útil mayor a diez años.

La industria colombiana fabrica intercambiadores de calor para atender necesidades de secado desde 94 kg de c.p.s. (7,5 @ de c.p.s.) hasta más de 3.000 kg de c.p.s. (250 @ de c.p.s.), que pueden ser utilizados con carbón mineral y cisco de café. Para secadores de menor capacidad estática se ofrecen intercambiadores de calor con alimentación de combustible por gravedad, mientras que para equipos de capacidad estática media y alta se ofrecen intercambiadores con alimentación por medio de tornillo sinfín. Estos equipos disponen de tolvas con autonomía de trabajo de más de 6 h. En la Figura 3 se presentan algunos intercambiadores de calor producidos en Colombia.

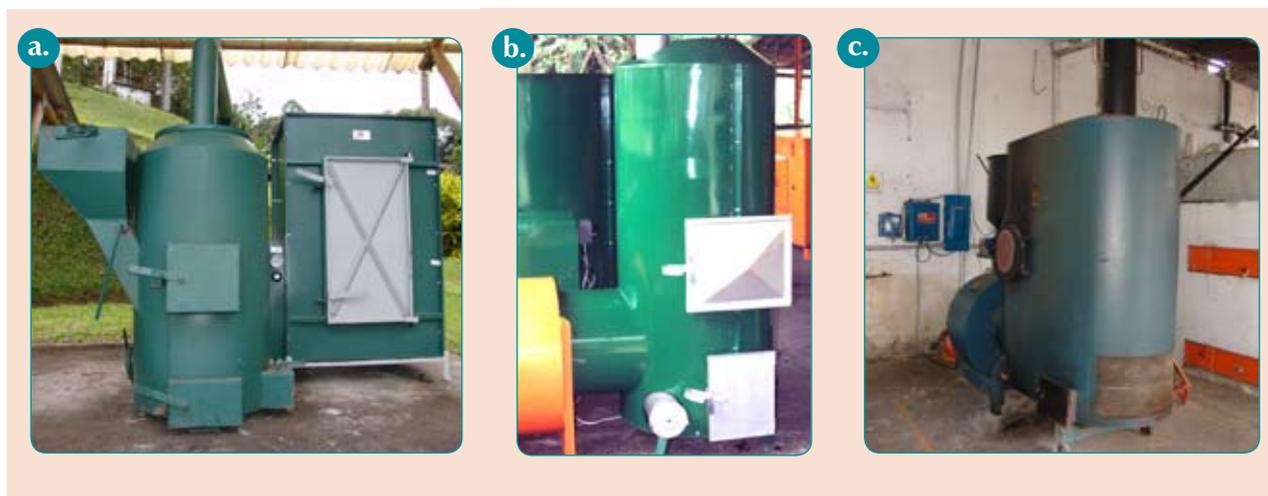


Figura 3. Intercambiadores de calor utilizados en el secado del café en Colombia. **a.** con alimentación por gravedad y carbón granulado; **b.** con alimentación mecánica con carbón mineral; **c.** con alimentación con cisco.

Consumo de combustible y costos en el secado del café

En la Tabla 2 se presentan valores de consumo específico de combustible (kg/@ de c.p.s.) obtenidos en Cenicafé, con tres intercambiadores de calor fabricados en Colombia, utilizados en el secado del café en las cosechas de mitaca y principal.

Las principales características de los intercambiadores utilizados para el ejercicio se describen a continuación.

Intercambiador de calor I. Consta de 92 tubos de acero a través de los cuales fluyen los gases de combustión en dirección vertical ascendente, mientras que el aire de secado lo hace a través de los espacios libres entre los tubos, en dirección contraria; el combustible, carbón mineral o cisco, es alimentado al hogar por medio de un tornillo sinfín, que se activa cuando la temperatura baja a 48°C y se detiene cuando llega a 52°C (control termostático). La tolva tiene



Figura 4. Intercambiador de calor I, alimentado con cisco de café.

capacidad aproximada para 200 kg de carbón, que permite autonomía de trabajo de 12 h (Figura 4).

Intercambiador de calor II. Los gases de combustión fluyen a través

de un ducto de 19 cm de diámetro, doblado en forma de U, en el interior de un cilindro de 120 cm de diámetro y 290 cm de altura. Para aumentar el área de transferencia de calor, en su superficie tiene aletas soldadas. Está diseñado para operar con carbón mineral granulado. En forma similar al intercambiador I dispone de un alimentador mecánico del combustible, con tornillo sinfín también activado termostáticamente. La tolva tiene capacidad para 200 kg, que le permite autonomía de trabajo de 12 h (Figura 5).

Intercambiador III. Diseñado para operar con cisco de café, cuenta con una tolva para 56 kg, que le da autonomía para 3,5 a 4,0 h de trabajo. El flujo de gases y aire de secado es paralelo y en direcciones contrarias. Dispone de un ciclón en su parte inferior para recoger gran parte de las cenizas. La alimentación de combustible es similar a las anteriores, al igual que el control de temperatura (Figura 6).

De acuerdo con la Tabla 2, utilizando carbón mineral, con

Tabla 2. Consumo específico de combustible en el secado del café, utilizando tres intercambiadores de calor y dos tipos de combustible.

Combustible	EQUIPOS						Costo combustible*
	Intercambiador I (kg/@ cps)		Intercambiador II (kg/@ cps)		Intercambiador III (kg/@ cps)		
	Media	C.V.	Media	C.V.	Media	C.V.	\$/kg
Carbón mineral granulado	3,83	22,83	2,8	23,81			150
Cisco de café					4,4	26,4	80
Costo unitario (\$/@ c.p.s.)	574,5		420		352		

* En Chinchiná (Caldas), septiembre del 2008. Fuente: Oliveros (8, 9).



Figura 5. Intercambiador de calor II.



Figura 6. Intercambiador de calor III

fue de 4,4 kg/@ de c.p.s. Si se considera el precio del cisco en Chinchiná (\$ 80/kg), el promedio del costo asciende a \$ 352/@ de c.p.s., valor menor al observado con otros combustibles, incluido el carbón mineral granulado.

En estudios realizados por Gutiérrez (5) y González (4) se determinó la participación de la energía eléctrica y el combustible (carbón mineral granulado) en el costo del secado, sin incluir la mano de obra, utilizando los intercambiadores de calor I y II, con eficiencias térmicas de 45 y 52%, respectivamente. Para el análisis se utilizó un precio de \$ 80/kg de cisco, \$ 150/kg de carbón mineral y \$ 300/kW·h, con la máxima capacidad de secado de 2.000 kg de c.p.s. (160 @). Los resultados obtenidos indican que el uso de cisco como combustible es la opción más económica para el secado, utilizando el intercambiador de calor de mayor eficiencia térmica (Tabla 3). Adicionalmente, se determinó que es mayor el impacto de la tecnología utilizada, por la eficiencia térmica, que por el combustible empleado.

El cisco del café es una alternativa importante para el secado del café en Colombia, por su poder calorífico, facilidad de uso con la tecnología actual y relativo bajo costo. Por cada 100 kg de c.p.s. se obtienen 18 kg de cisco (6). Considerando una producción anual de café de 12 millones de sacos, cada año se producen en el país 158.049 t de cisco, suficientes para secar 449.000 t de c.p.s. (35,9 millones de @/año de c.p.s.). También puede considerarse la leña del cafeto; por cada hectárea renovada se producen 16 t de madera seca, en

el intercambiador de calor II se obtuvo menor consumo específico y costo de combustible que con el intercambiador de calor I, 2,8kg/@ de c.p.s. y \$ 420/@ de c.p.s, respectivamente. Estos valores son notoriamente menores a los registrados al utilizar combustibles

como ACPM y gas propano, \$ 3.600/@ de c.p.s. y \$ 1.300/@ de c.p.s., respectivamente.

Con el intercambiador de calor III, utilizando cisco de café como combustible, el consumo promedio

una plantación con densidad de 5.000 árboles/ha (3), que generan la energía equivalente a la obtenida con 13.748 kg de cisco. Esta energía

es la requerida en el secado de 3.120 @ de c.p.s., con la tecnología ofrecida actualmente.

productos queden en las mismas condiciones de humedad.

En la Tabla 4 se presentan resultados obtenidos en Cenicafé para el secado combinado (10), utilizando un secador tipo túnel solar y un silo de tres cámaras, con capacidad estática de 93,8 kg de c.p.s. (7,5 @ de c.p.s.). Para medir la humedad del café en el secado solar se utilizó el método propuesto por Oliveros (7). Se observa que cuando la humedad del café al final del presecado solar está en el rango del 30 al 45%, el tiempo de secado en el silo varía entre 8 y 12 h, por lo cual el café debe ser trasladado de una cámara a

■ Secado combinado del café

Con frecuencia en las fincas cafeteras se utiliza energía solar junto con secadores mecánicos para el secado del café, denominado secado combinado. En los secadores solares se retira la humedad hasta valores cercanos al 40%, en 1 ó 2 días (orear el café), y se finaliza el proceso en el silo, en menos de 12

horas, con reducción importante en el consumo de combustible y energía eléctrica, obteniendo un producto de excelente calidad física y en taza. **Es importante tener en cuenta que no se deben mezclar cafés de diferentes días en una cámara del secador mecánico, porque no se logra que los dos**

Tabla 3. Costos de energía eléctrica y combustible en el secado del café, con los intercambiadores de calor II y III.

Rubro	Carbón		Cisco	
	Intercambiador II (\$/@ cps)	Intercambiador III (\$/@ cps)	Intercambiador II (\$/@ cps)	Intercambiador III (\$/@ cps)
Electricidad	133,92	153,02	133,92	153,02
Combustible	364,32	315,28	340,03	294,26
Total	498,24	468,30	473,95	447,28

* En Chinchiná (Caldas), septiembre del 2008. Fuente: Oliveros (8, 9).

Tabla 4. Resultados del secado combinado del café, utilizando un secador tipo túnel solar y un silo de tres cámaras, con capacidad estática para 7,5 @ de c.p.s.

Ensayo	Lote	Secado Solar			Secado en Silo				
		Humedad inicial (%)	Humedad final (%)	Tiempo (días)	Tiempo secado (h)	Humedad final (%)		Consumo combustible (kg/@ cps)	Reducción tiempo secado (%)
						Media (%)	C.V. (%)		
1	1	53	31,4	1	7,5	10,8	2,18	2,1	58,3
	2	53	31,4	2	8	10,7	2,18	2,1	55,6
	3	53	21	2	6	10,6	1,32	2,1	66,7
2	1	53	48,4	1	14	10,3	0,88	2,8	22,4
	2	53	44,7	2	13	11,9	1,18	2,8	27,8
	3	53	39,3	2	12	11,3	1,18	2,8	33,3

* En Chinchiná (Caldas), septiembre del 2008. Fuente: Oliveros (8, 9).

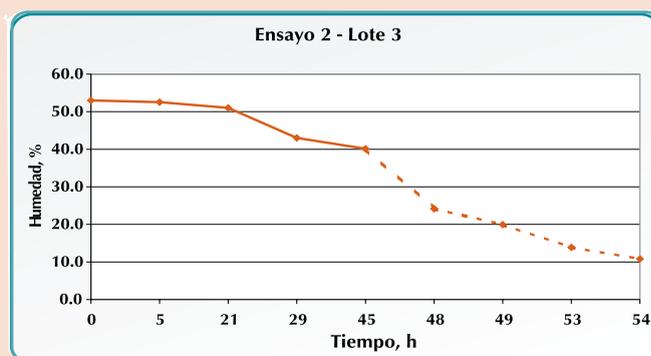
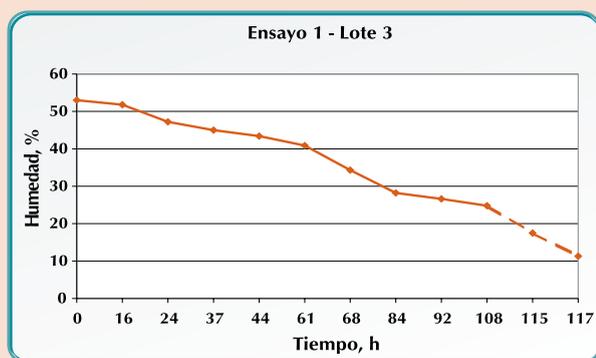


Figura 7. Curvas de secado combinado del café. La línea continua representa el secado solar, y la punteada el secado mecánico.

otra entre 2,7 h y 4 h. Cuando el café se lleva al secador sin presecado previo, el tiempo recomendado para invertir la capa es de 6 h. Cada 6 h se debe cargar el secador y luego de 18 h de iniciado el proceso, cada 6 h se obtiene café seco en el rango del 10 al 12%.

En la Figura 7 se presentan curvas de secado combinado del café. La línea continua presenta los valores de humedad obtenidos en el secado solar (tipo túnel con colector solar) (Figura 8) y la línea punteada los valores de humedad obtenidos en el secado mecánico.

Con el empleo de la energía solar y el secado mecánico, se logra reducir notoriamente el tiempo de secado, en condiciones climáticas adversas, típicas de cosecha principal y de mitaca, disminuyendo el riesgo de deterioro de la calidad del producto, que puede ocurrir en el secado solar prolongado. Como se observa en la Tabla 4

y en la Figura 7, con el empleo del secado solar se disminuye el tiempo de secado en el silo entre 22,4 y 66,7%, con reducción en el consumo específico de combustible y de energía eléctrica en el secado mecánico hasta del 50%. Adicionalmente, se obtiene café seco con buena uniformidad de la humedad final (coeficiente de variación en el rango de 0,90 a 2,18%) y se reduce el impacto ambiental.

Cuando se requiera silo para el secado del café en épocas “pico” de cosecha, con el empleo del secado combinado se puede seleccionar un equipo de menor capacidad estática y dinámica, considerando la contribución del secado solar. De esta forma es posible disminuir el costo del silo (inversión y operación) y utilizarlo más eficiente y económicamente durante el año, en lo posible con presecado del café con energía solar.



Figura 8. Secador tipo túnel con colector solar.

Literatura citada

1. CLAAR II, P.W.; BUCHELE, W.F.; MARLEY, S.J. Crop. Residue Fired Furnace for Drying Grain, ASAE, St. Joseph, Michigan, Estados Unidos de América, 450p.1981.
2. DUQUE O., H.; SALDARRIAGA S., F.; LÓPEZ Q., J.J.; OLIVEROS T., C.E. Economía del secado de café; un estudio de caso. Avances Técnicos Cenicafé No. 286:1-8. 2001.
3. FARFÁN V., F. El zoqueo del café conserva el bosque nativo. Avances Técnicos Cenicafé No. 209:1-4. 1994.
4. GONZÁLEZ S., C.A. Control automático de caudal y temperatura de aire en el secado del café. Cali, Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería, 2008. 150 p. (Tesis: Ingeniero Mecánico).
5. GUTIÉRREZ F., J.M. Metodología para la construcción de ventiladores centrífugos para secado mecánico de café en talleres rurales. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ingeniería Mecánica, 2008. 122 p. (Tesis: Ingeniero Mecánico).
6. MONTILLA P., J.; ARCILA P., J.; ARISTIZÁBAL L., M.; MONTOYA R., E.C.; PUERTA Q., G.I.; OLIVEROS T., C.E.; CADENA G., G. Propiedades físicas y factores de conversión del café en el proceso de beneficio. Avances Técnicos Cenicafé No. 370:1-8. 2008.
7. OLIVEROS T., C.E. Método para el monitoreo de la humedad del café en secadores solares. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de

Ingeniería Agrícola. 2000- 2001. Chinchiná, Cenicafé, 2001, p 29-32.

8. OLIVEROS T., C.E. Actividades en el Beneficiadero de Cenicafé. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. 2003- 2004. Chinchiná, Cenicafé, 2004, p 64 - 71.

9. OLIVEROS T., C.E. Actividades en el Beneficiadero de Cenicafé. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. 2004- 2005. Chinchiná, Cenicafé, 2005, p 41 - 45.

10. OLIVEROS T., C.E. Evaluación de tecnologías solares parabólicas para el secado del café. In: CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Cenicafé. Informe anual de actividades de la Disciplina de Ingeniería Agrícola. 2007- 2008. Chinchiná, Cenicafé, 2008, p 3 - 17.

11. PARRA C., A.; ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E. SECAFE Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico de café pergamino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12(4):415-427. 2008.

12. PARRA C., A.; ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E. SECAFE Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12(4):428-434. 2008.

13. PINO C., J. Deterioro térmico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1993. 105 p.

14. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G.,C.A.;

SANZ U., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ÁLVAREZ H., J.R.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná, Cenicafé, 1999. 273 p.

Caficultor:

El cisco es el combustible más económico para secar su café, utilice equipos que permitan aprovecharlo bien y mantener la temperatura en 50°C. Siempre que sea posible utilice el secado solar para orear el café y el silo para finalizar el secado, al hacerlo disminuye el consumo de combustible y de energía eléctrica, y obtiene café con humedad más uniforme, de mejor calidad.

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: César A. Ramírez Gómez
Diagramación: María del Rosario Rodríguez L.
Impresión: Feriva