

APROVECHAMIENTO DE LA ENERGÍA CALÓRICA DE ESTUFAS CAMPESINAS PARA EL SECADO DEL CAFÉ EN FINCAS¹

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

RESUMEN

MARTÍNEZ T., D. G.; ÁLVAREZ H., J. R. Aprovechamiento de la energía calórica de estufas campesinas para el secado del café en fincas. Cenicafé 57(2):88-99. 2006.

En Cenicafé se diseñó y construyó el equipo de secado Escafé, para 125kg de café pergamino seco e inversión del flujo de aire, que aprovecha parte de la energía calórica de las estufas campesinas cuando se preparan los alimentos. Se usó una estufa campesina metálica modificada y como combustibles hulla y leña de zocas de café. El café lavado se ubicó en una cámara de secado de 1m² de área, con un orificio encima de la capa de granos y otro debajo, que permiten la inversión del flujo de aire impulsado por un ventilador axial. La energía térmica no empleada en la preparación de alimentos fue aproximadamente el 85% de la cual se aprovechó en este experimento más del 30%. El secado de café tomó 3 días operándose 15 horas diarias, equivalentes al funcionamiento habitual de la estufa. La entrada de aire ambiente por dos compuertas deslizantes a la corriente de aire caliente permitió regular la temperatura del aire que alcanza la cámara de secado. Durante cada tanda de secado de café se emplearon 96,1kg de hulla y 183,1kg de leña y la cámara de secado alcanzó una temperatura promedio de 48,3°C. El contenido final de humedad del café fue del 10% b.h.

Palabras clave: Café, secado mecánico, leña de café, energía calórica, estufa campesina, aprovechamiento energético.

ABSTRACT

At Cenicafé the equipment to dry coffee called Escafé was designed and constructed for 125kg of coffee dry parchment and air flow change that takes advantage of the calorific energy produced by the stoves used by farmers when they prepare their food. A modified metallic stove was used and the fuel consisted of soft coal and firewood of coffee stems. The washed coffee was located in a drying chamber with an area of 1m² with two orifices: one upon the layer of grains and one underneath to allow the change of air flow impelled by an axial ventilator. The not-used thermal energy in the food preparation was approximately 85% and this experiment took advantage of more than 30%. The coffee drying process took 3 days operating 15 hours daily, which is equivalent to the habitual operation of the stove. The environment air intake through two sliding floodgates to the hot airflow allowed regulating the air temperature that reaches the drying chamber. During each coffee drying turn 96.1kg of soft coal and 183.1kg of firewood were used and the drying chamber reached an average temperature of 48.3°C. The final coffee humidity content was 10% b.h.

Keywords: Coffee, mechanical drying, coffee firewood, calorific energy, farm stove, power advantage.

¹ Resumen del trabajo de tesis "Aprovechamiento de la energía calórica de estufas campesinas para el secado del café en fincas" presentado a la Universidad Surcolombiana para optar al título de Ingeniera Agrícola. 2000.

^{*} Ingeniera Agrícola, Universidad Surcolombiana.

^{**} Investigador Científico III, Ingeniería Agrícola hasta 2000, Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

Durante el secado del café ocurre un desplazamiento de la humedad dentro del grano denominado difusión, la cual ha sido definida por Estrada *et al.*(3), como la migración de agua de la parte más interna del grano a la más externa, para sustituir la humedad perdida en la superficie. López (3) y Cleves (2), afirman que el café pergamino tiene un comportamiento muy complejo durante el secado debido a su composición heterogénea: pergamino y almendra. El pergamino, por ser un material celulósico, se endurece conforme avanza el proceso de secado y a la vez, se forma una cámara de aire entre éste y la almendra, la cual dificulta la transferencia de calor hacia el interior del grano y la difusión de humedad hacia el exterior; además, el pergamino actúa como barrera para el flujo de vapor de agua desde el interior a la superficie del grano.

Según Ortiz y Reyes citados por Rivera y Vélez (7), la eficiencia del aprovechamiento de la energía solar es muy baja, aproximadamente entre el 7 y 13%. La baja eficiencia se explica porque la radiación solo es captada por una fracción pequeña de los granos y además, porque la superficie del pergamino no es un colector de energía solar muy eficiente.

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 día soleado tiene una intensidad en la superficie terrestre de 1kJ/s-m^2 , y en 10 horas de sol se tendrían disponibles 36.000kJ/m^2), 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 (3). López (4), afirma que para secar el café hasta el denominado estado de “seco de agua” (40 a 48% b.h.) se necesitan aproximadamente 2 horas de sol y para llevarlo desde éste hasta pergamino seco de

trilla se requieren entre 40 y 50 horas sol. Así mismo, recomienda una densidad de carga de 24kg de café húmedo por metro cuadrado, con un espesor de la capa de grano de 3cm y revolver el grano mínimo tres veces al día.

Bolívar y Zarrate(1) indican que las variables que determinan la tasa de remoción de humedad en el secado estático de café son: la temperatura, el flujo del aire, la altura de la capa de granos, el tiempo para la inversión del sentido del flujo del aire y la humedad inicial del grano. Las variaciones de las anteriores variables influyen en la uniformidad del contenido de humedad final del grano, en la eficiencia del secado y en el comportamiento del secador.

Montenegro (5), en Cenicafé, diseñó y evaluó un secador estático de un solo compartimento con inversión de flujo de aire, con una capacidad de 125kg de cps/tanda, que calienta el aire de secado por medio de resistencias eléctricas. El secador requiere que la masa de café inicial esté seca de agua ($40 \pm 5\%$ base húmeda), y obtuvo como resultado una capacidad dinámica entre 1,8 y 2,6kg cps/h, la uniformidad final de secado tuvo coeficientes de variación inferiores del 9% para capas de grano de 30cm, y con inversión de flujo del aire entre 6 y 10 horas dicha capacidad dinámica no varió.

En otros estudios Bolívar y Zarrate (1), evaluaron en el municipio de Venecia (Antioquia) un secador de café estático con inversión de flujo, utilizando carbón mineral como combustible y con capacidad de 250kg de cps, del cual concluyeron que la mejor condición de operación ocurrió cuando el tiempo de inversión del flujo del aire tomó ocho horas, un coeficiente de variación del contenido de humedad del 7,64% y un tiempo de secado de 32 horas.

En el mismo municipio, Rivera y Vélez (8) evaluaron una secadora de café de capa estática de tres compartimentos verticales (dos de presecado y uno de secado) con inversión de flujo de aire en la capa inferior (secado), con una capacidad dinámica de 150kg cps/día, que utilizó carbón coque en combustión directa (mezcla de los gases resultantes de la combustión con el aire de secado). En el contenido de humedad final del grano se obtuvieron resultados desuniformes con un coeficiente de variación mayor del 10%.

La eficiencia térmica de secado, expresada como la energía calórica requerida para secar un kilogramo de agua, que obtuvo Montoya (6) en la optimización operacional del secador de flujos concurrentes fue de 4.500kJ/kg a.e. (agua evaporada). Buitrago, citado por Montenegro (5), al implementar el secado mecánico de café en carros secadores obtuvo flujos entre 4.295,8 y 4.873,4kJ/kg a.e.. Montenegro (5) con el secador eléctrico estático de baja capacidad, con inversión de flujo y recirculación de aire, registró valores entre 5.085 y 6.270kJ/kg a.e.

Este estudio tuvo como objetivos cuantificar la energía no aprovechada en la preparación de alimentos en una estufa campesina y evaluar un sistema de “estufa modificada” para aprovechar la energía calórica en el secado de café. Así mismo, se determinó el tiempo de secado, se evaluó la calidad en taza del café y el costo del secado con el sistema propuesto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Las pruebas de secado se realizaron en la Subestación Experimental Paraguaicito de Cenicafé, localizada en el municipio de Buenavista (Quindío).

Materiales y equipos:

- Estufa campesina metálica modificada
- Cámara de secado en madera
- Ventilador axial marca EXTRA-AIRE Ltda. Modelo HALGC (caudal de 1,15m³/s, una caída de presión de 10mm, accionado por un motor de 0,187kw (¼HP) a 110v y 1,4 girando a 1.700r.p.m.
- Carros secadores con piso de madera.
- Ollas de aluminio
- Café pergamino lavado
- Carbón hulla
- Leña proveniente del zoqueo del café

Equipos de medición:

- Balanza electrónica de precisión, sensibilidad 0,1mg METTLER Pe 360
- Estufa eléctrica
- Termocuplas tipo J
- Data Logger serie 3.000
- Cámara THV 550 de AGEMA infrared System AB
- Instrumento para medir velocidad y temperatura del aire, TESTOVENT 4000

Descripción del equipo: El equipo de secado “Escafé” (Figura 1) consta de:

La estufa campesina metálica modificada, de cuatro fogones de hierro, hace las veces de hogar de combustión (fogón) y de intercambiador de calor para el equipo de secado “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 (0,20m²) y la posterior (0,30m²), para aprovechar el calor transmitido por ellas.

El segundo, es un conducto o carcaza de 0,50m², que recubre la chimenea y que posee cuatro aletas soldadas en sentido longitudinal (0,10m²) en donde se aprovecha, de igual forma, la energía transferida por ellas. El aire allí calentado, se transporta por un

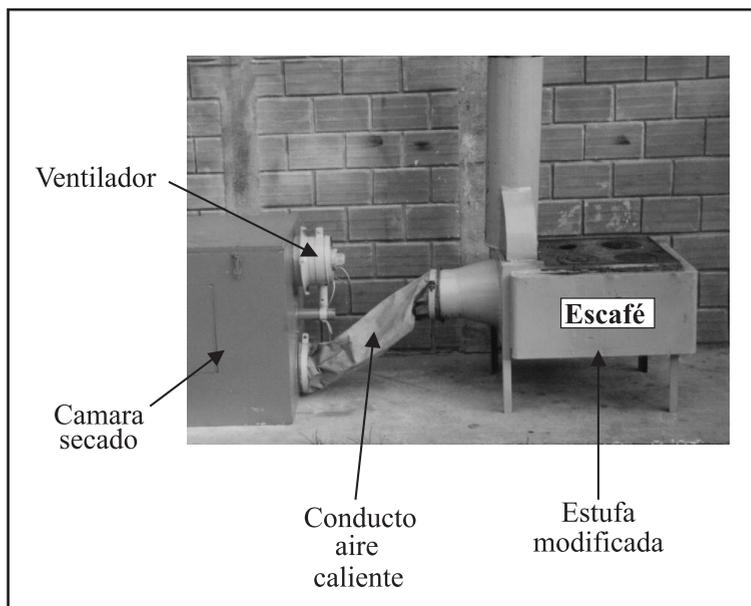


Figura 1.
Equipo de secado
"Escafé".

conducto que une la estufa con la cámara de secado. Para acoplar la estufa al conducto se instaló una transición circular (forma de embudo), y en su perímetro se ubicaron dos compuertas deslizantes, por medio de las cuales se controla la temperatura del aire que entra a la cámara de secado. El conducto citado está formado por una espiral interna metálica recubierta con lona impermeable y en cada extremo cuenta con un anillo para acoplarlo por un lado a la cámara de secado y por el otro a la transición. La cámara de secado tiene un área de 1m^2 , con capacidad para 125kg de cps/tanda. Está construida en madera compactada (triplex) y el área de contacto entre el café y la madera, para evitar el deterioro de aquella por la humedad del café y el riesgo de contaminación del grano, está recubierta con lámina de hierro galvanizada calibre 33 hasta una altura de 40cm desde la malla metálica (tipo cafetera) sobre la cual se soporta la masa de granos, localizada a 30cm del piso de la cámara. En una de sus caras laterales hay dos orificios

que permiten la entrada del aire caliente por una y la salida del aire húmedo por el otro, 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.

Metodología. El equipo "Escafé" fue evaluado 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 por los intercambiadores de calor de la chimenea y de 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 2).

Para cada tratamiento se realizaron cinco repeticiones, cada una con un testigo

de café secado al sol. La muestra estuvo constituida por 240kg 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.

Procedimiento. Se cargó la cámara de secado con el café lavado, se inició la combustión de dos kilos de combustible en la estufa y se esperó durante 30 minutos hasta que el combustible estuviera completamente encendido. Posteriormente, se colocaron cuatro recipientes con agua en cada uno de los fogones de la estufa, se encendió el ventilador del “Escafé” con el flujo descendente, y luego se agregó el combustible y se registró su peso (para el carbón se utilizaron dos kilos y para la leña cuatro kilos por hora). Al inicio y en cada cambio de dirección del flujo de aire se tomaron tres muestras de café de 50g cada una en tres profundidades diferentes para determinar el contenido de humedad y conocer el desarrollo del secado. Las muestras se llevaron a una estufa a $105 \pm 1^\circ\text{C}$ durante $16 \pm 0,5$ horas (Norma ISO 6673 de 1982). El cambio de dirección del flujo del aire de secado se realizó en la mitad del tiempo de la operación de la cocina, es decir, cada siete horas y media. En la parte final del proceso de secado el tiempo de cambio se redujo según el requerimiento de la masa de café de cada prueba. Se registraron las temperaturas en la entrada de la cámara de secado, en los intercambiadores y la de los gases de combustión. Durante la noche el ventilador permaneció encendido aunque no se le suministró combustible a la estufa.

El procedimiento para las pruebas testigo consistió en revolver la masa de café depositada

en los carros secadores entre una y cuatro veces al día, según las condiciones climáticas. Se registró para cada prueba el tiempo de secado, la uniformidad del contenido de humedad final y la calidad organoléptica.

Determinación de la energía aprovechada en la preparación de alimentos en la estufa campesina y la energía generada por el combustible.

Se realizó el siguiente balance general, ecuación <<1>>:

$$E_{\text{combustible}} = E_{\text{preparación alimentos}} + E_{\text{sin utilizar}} \quad \ll 1 \gg$$

En donde:

E combustible: Energía entregada por el combustible, kJ

E preparación alimentos: Energía aprovechada en la preparación de alimentos, kJ

E sin utilizar: Energía sin utilizar en la estufa (disipada en forma de calor), kJ

Para determinar la energía entregada por el combustible se utilizó la ecuación <<2>>:

$$E_{\text{combustible}} = C \times P_c \quad \ll 2 \gg$$

En donde:

E combustible: Energía entregada por el combustible, kJ

C: Masa total de combustible, kg

P_c: Poder calorífico del combustible, kJ/kg

Para la preparación de los alimentos solo se aprovecha la energía transferida por la pared superior (superficie) de la estufa. La energía de las otras paredes que no se utiliza en ello, se determinó por medio de la ecuación <<3>>:

$$E \text{ preparación alimentos} = E \text{ convección} + E \text{ radiación}$$

<<3>>

En donde:

E preparación alimentos: Energía utilizada en la preparación de alimentos, kJ

E convección: Energía por convección del combustible a la pared superior, kJ

E radiación: Energía por radiación del combustible a la pared superior, kJ

De la energía que aporta el combustible, una pequeña parte se aprovecha en la preparación de los alimentos y el resto no se utiliza, debido a la construcción de la misma estufa; de esta manera se obtiene la ecuación <<4>>:

$$E \text{ sin utilizar} = E \text{ combustible} - E \text{ preparación alimentos}$$

<<4>>

En donde:

E sin utilizar: Energía sin utilizar en la estufa (disipada en forma de calor), kJ

E combustible: Energía entregada por el combustible, kJ

E preparación alimentos: Energía utilizada en la preparación de alimentos, kJ

De la energía total suministrada a la estufa para la preparación de los alimentos, se aprovechó para el secado mecánico del café la transmitida por las paredes lateral y la posterior de la cámara de combustión de la estufa, la de la chimenea y la de las aletas de la pared externa de la chimenea (intercambiadores de calor).

Determinación del tiempo de secado: Se registraron las horas en que el café permaneció en el “Escafé”, en el proceso de secado. Y,

se definió como el tiempo total de secado, el tiempo durante el cual permanece el café en el dispositivo, sea este el “Escafé” o el carro secador.

Evaluación de la calidad en taza: Para cada prueba, tanto de secado mecánico como del testigo, se tomaron 400g de café almendra, que se enviaron al Panel de Catación de Cenicafé para el respectivo análisis de calidad.

Costo de secado: Se determinaron los costos totales, que son la suma de los costos fijos más los costos variables o de operación.

Los costos de operación del equipo de secado incluyen: la electricidad, el mantenimiento y la mano de obra. Solo la depreciación hace parte de los costos fijos, ecuación <<5>>:

$$CMA = CF + CV$$

<<5>>

En donde:

CMA: Costos medios anuales, \$/12,5kg cps.

CF: Costos fijos, \$/12,5kg cps.

CV: Costos variables, \$/12,5kg cps.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Energía aprovechada en la preparación de alimentos. En la Tabla 2 se observan los valores promedios de la eficiencia térmica de la estufa campesina en la preparación de alimentos y en el secado de café pergamino, expresados en porcentaje, obtenidos con el balance de energía.

De la energía aportada por el combustible (carbón o leña) se aprovecha en promedio un 15% para la preparación de alimentos (CV =23,04%). La Tabla 2 muestra las eficiencias térmicas de los intercambiadores

Tabla 1. Tratamientos aplicados, combustibles e intercambiador.

Tratamiento	Combustible	Aprovechamiento
1	Leña	Chimenea
2	Leña	Chimenea y paredes
3	Carbón	Chimenea
4	Carbón	Chimenea y paredes

Tabla 2. Eficiencia térmica de la estufa campesina en la preparación de alimentos y en el secado de café, empleando cada intercambiador y el equipo “Escafé”.

Tipo de combustible	Energía aprovechada en la preparación de alimentos		Energía transmitida por el conducto de la chimenea*		Energía transmitida por el conducto de la chimenea y las paredes de la estufa**		Energía empleada en el secado***	
	\bar{y} (%)	C.V. (%)	\bar{y} (%)	C.V. (%)	\bar{y} (%)	C.V. (%)	\bar{y} (%)	C.V. (%)
Leña	12,36	28,75	7,80	4,25	19,47	4,25	31,03	4,25
Carbón	17,26	18,92	9,24	3,92	23,44	3,92	34,07	3,92

Según prueba t al 5%

*(Tratamientos 1 y 3),**(Tratamientos 2 y 4);

***Eficiencia térmica del proceso de secado

de calor utilizados durante el proceso de secado del café pergamino con cada tipo de combustible. El conducto de la chimenea (tratamientos 1 y 3) mostraron un promedio de eficiencia térmica de 8,52% (C.V. 4,08%), mientras que el promedio de la eficiencia del conducto de la chimenea y las paredes (tratamientos 2 y 4) fue del 21,45% (C.V. = 4,08%). De la energía que no se aprovechó en la preparación de los alimentos se utilizó durante el proceso de secado del café el 32,55% (C.V. 4,08%) con el empleo del secador “Escafé”.

La interacción entre el tipo de combustible y el aprovechamiento de la energía fue baja. La masa de combustible empleada varió debido a la diferencia en el poder calorífico de los mismos.

Desempeño energético del secador “Escafé”.

La eficiencia térmica se estimó como la relación entre la energía entregada por el combustible y la masa de agua evaporada de los granos de café y se tuvo en cuenta que de la energía que aporta el combustible solo el 28% se utiliza para el secado de café.

El requerimiento específico de energía (calor) fue de 7.297kJ/kg. a.e. La eficiencia térmica de secado fue del 31,03% con leña y de 34,07% con carbón mineral. En comparación con el secador eléctrico estático diseñado por Montenegro (5), que tuvo un requerimiento específico de energía entre 5.085 y 6.270kJ/kg. a.e., y el secador Intermitente de Flujos Concurrentes (IFC) para café diseñado en Cenicafé, con valores de 4.500kJ/kg a.e.

Tiempo de secado y consumo de combustible.

En la Tabla 3 se observan para cada tratamiento los promedios de los tiempos de secado con su correspondiente testigo y el consumo de combustible.

En promedio, el secado con el equipo “Escafé” tardó tres días y el testigo en secado natural, diez (temporada de verano). En cuanto a los combustibles el consumo no varió al emplear los dos métodos de aprovechamiento de energía (tratamientos 1 – 2 y 3 – 4) pero sí hubo diferencia con el tipo de combustible a favor del 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 que comportamiento ocurre en un secador intermitente desde el punto de vista energético (debido a las horas sin suministro de combustible).

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 la 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 similar, 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. En el 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 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,

Tabla 3. Tiempo de secado y consumo de combustible por tratamiento.

Tratamiento	Tiempo secado en “Escafé”*		Tiempo secado del testigo		Consumo de combustible	
	x (días)*	C.V. (%)	x (días)*	C.V. (%)	x (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%.

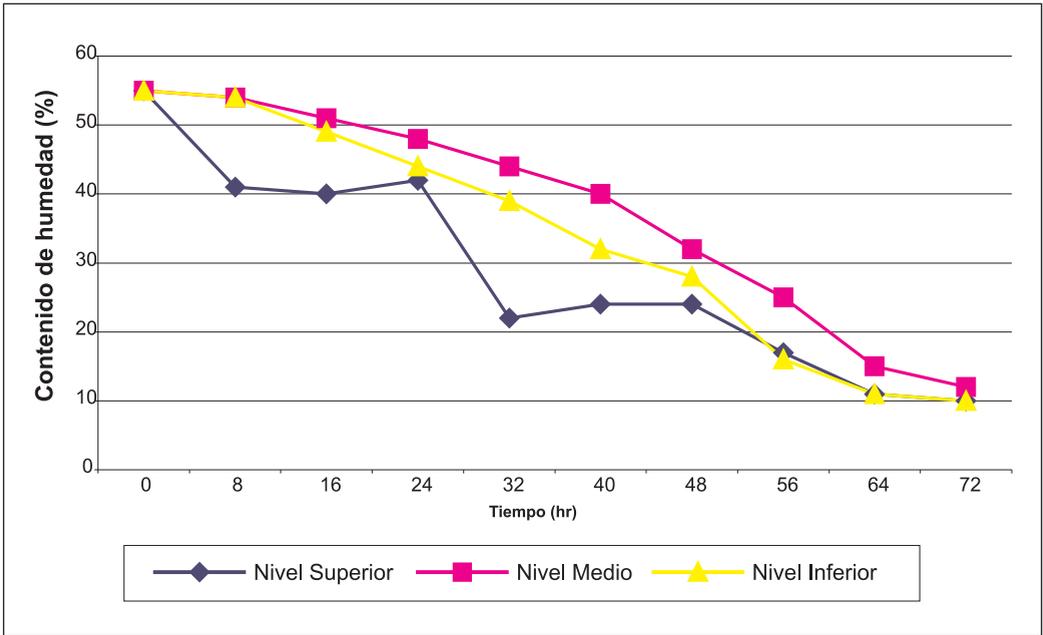


Figura 2. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 1.

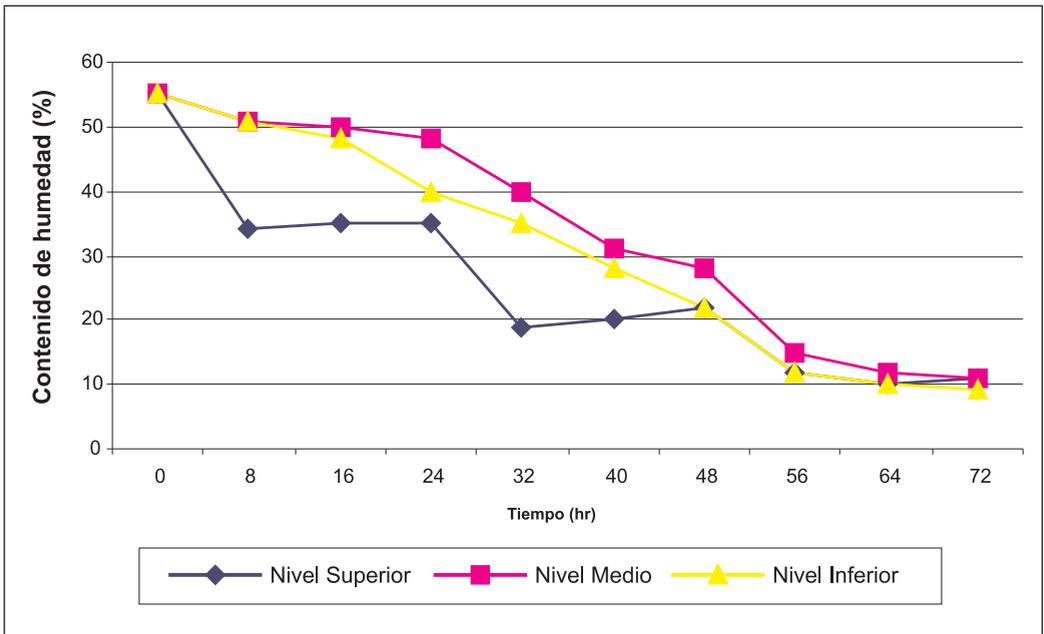


Figura 3. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 2.

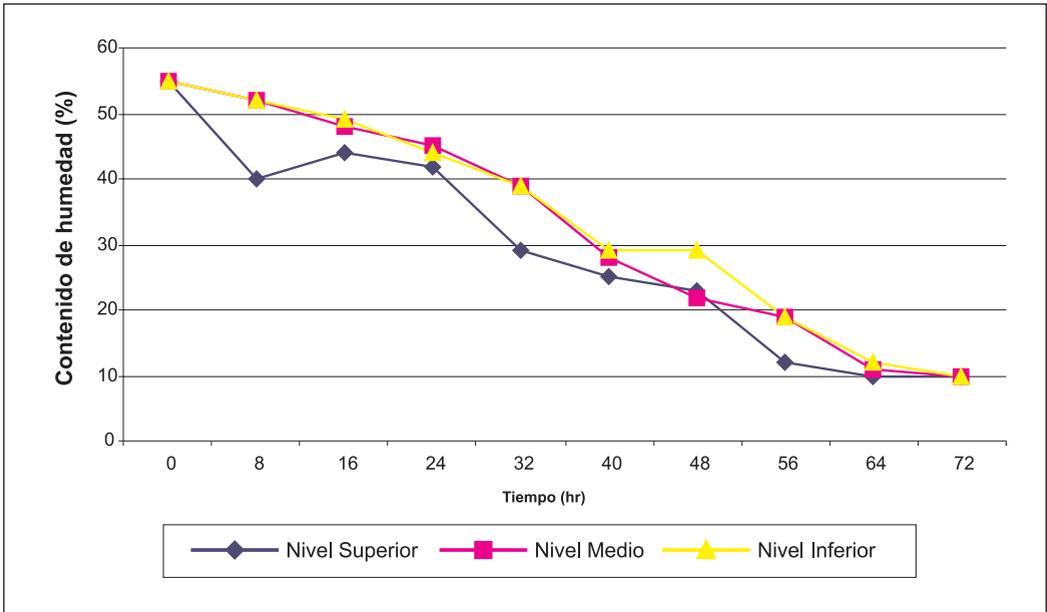


Figura 4. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 3.

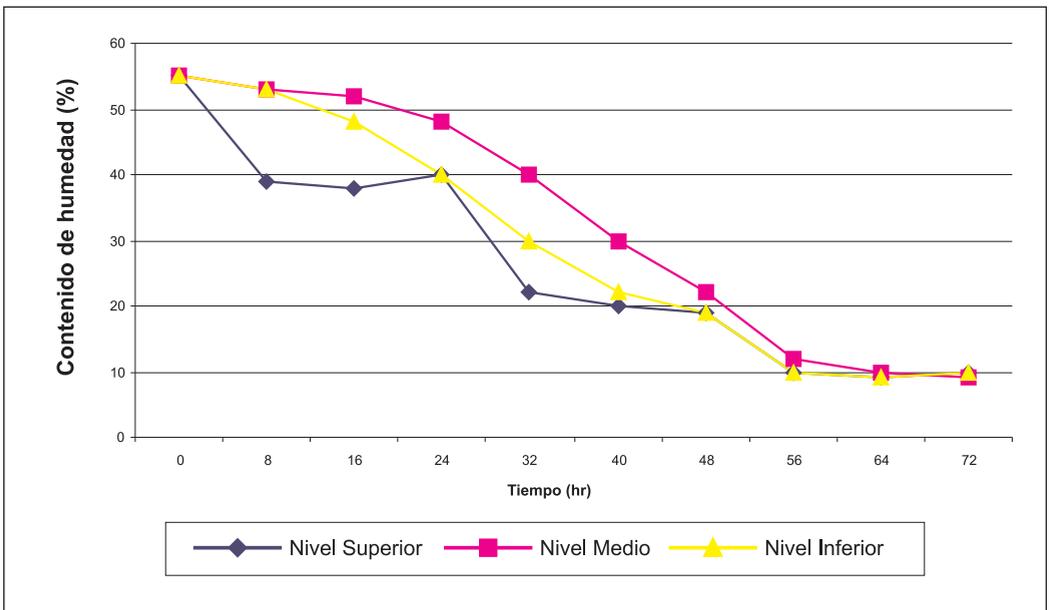


Figura 5. Curvas de secado por niveles de profundidad en el Tratamiento 4.

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

En la Tabla 4 se muestran las temperaturas medias de secado en cada uno de los tratamientos, en los períodos con y sin combustible.

Calidad en taza. Los resultados obtenidos en la Tabla 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 la calidad en taza. No hubo diferencias estadísticas en la calidad en taza entre el café secado al sol, en el “Escafé” ni 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 (1½h), la revisión y el cambio de flujo (1h) y la limpieza del equipo (½h).

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 3.750kg de cps.

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

Tabla 4. 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

Tabla 5. Calidad en taza.

Clase	Calidad %	C.V.%
Testigo	69	20,98
Tratamiento	62	37,22

Prueba t al 5%

No hubo variación en los costos para los diferentes tratamientos.

La diferencia entre secar 3.750 kg de cps en un año, al emplear el servicio de secado en el pueblo y al utilizar el equipo “Escarfé” es del orden del 44% a favor de este último, debido al combustible y el flete, principalmente.

De acuerdo con los resultados obtenidos puede afirmarse que la energía no aprovechada durante la preparación de alimentos en la estufa campesina empleando leña de café y carbón mineral es del 85%, aproximadamente.

La eficiencia del intercambiador de calor-chimenea empleando leña de café y/o carbón mineral fue en promedio de 8,52% (C.V. 4,08%). La eficiencia de la estufa modificada fue del 32,55% empleando leña de café y/o carbón mineral (C.V. 4,08%).

El requerimiento específico de energía (calor) del secador fue de 7.297kJ/kg a.e., y el tiempo de secado para obtener 125kg de cps utilizando el equipo “Escarfé” es de tres días en comparación con los diez días que demora el secado solar.

El contenido de humedad final del café por niveles de profundidad, al final del proceso de secado, estuvo entre 8,41% y 12,74% b.h. con coeficientes de variación entre 2,87 y 27,46%.

La temperatura promedio del aire de secado durante las 15 horas con suministro de combustible fue de 48,3°C (C.V. 14%).

La calidad en taza del café secado en el equipo “Escarfé” no mostró diferencia significativa con el café secado al sol.

El costo de secado utilizando esta tecnología, se reduce en un 44% con respecto al costo

del servicio de secado. En este estudio no se tuvo en cuenta el costo del combustible debido a que es el mismo que se utiliza para la preparación de alimentos.

Al emplear el equipo “Escarfé” la relación en tiempo de secado con respecto al secado solar es de 3:1 aproximadamente.

El secado mecánico de café empleando el equipo “Escarfé” es una alternativa altamente viable para los caficultores.

LITERATURA CITADA

1. BOLÍVAR, W.; ZARRATE, M. Evaluación técnica y económica de una secadora de café (*Coffea arabica*) con una capacidad de 20 arrobas. Medellín, Universidad Nacional de Colombia, 1994. 140 p. (Tesis: Ingeniero Agrícola).
2. CLEVES, R. El secamiento mecánico del café. *Noticiero del Café* 1(9):1-3, 1986.
3. 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).
4. LÓPEZ, M. Café bien beneficiado, buen negocio para usted y prestigio del café colombiano. *Boletín de Extensión Federacafé* N° 14:1-11. 1960.
5. MONTENEGRO, J.Y. Secador eléctrico estático para café de baja capacidad, inversión de flujo y recirculación de aire. Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1992. 159 p. (Tesis: Pregrado).
6. MONTOYA R., E.C. Optimización operacional del secador intermitente de flujos concurrentes para café pergamino seco. Pereira, Universidad Tecnológica de Pereira, 1989. 116 p. (Tesis: Magister Science).
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).