

# DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFÉ DURANTE EL SECADO EN SILOS

Carlos E. Oliveros-Tascón\*; Liliana López-Valencia\*\*; Claudia Marcela Buitrago\*\*\*; Edilson León Moreno-Cárdenas\*\*\*\*

---

## RESUMEN

**OLIVEROS T., C.E.; LÓPEZ V., L.; BUITRAGO, C.M.; MORENO, E.L. Determinación del contenido de humedad del café durante el secado en silos. Cenicafé 61 (2):108-118.2010**

Se evaluó un método para determinar el contenido de humedad del café durante el secado en silo tipo Cenicafé, basado en la pérdida de masa de una muestra colocada en un cilindro de 10,16 cm de diámetro interior, de igual altura a la capa de granos colocada en el secador. A la muestra de café previamente se le retiraron los granos vanos, atacados por la broca, los frutos sin despulpar y la pulpa. La muestra se pesó utilizando una balanza digital de bajo precio (US\$ 20) con rango de 0 a 5 kg y resolución de 1 g, y cuando pierde el 47,3% de su masa inicial, su humedad ha disminuido de 53% a 11%, valor en el rango de comercialización del café en Colombia (10%-12%). El método, denominado Gravimet – SM, se evaluó considerando cuatro alturas de capa de granos (10, 20, 30 y 40 cm) con 15 ensayos en cada una. De cada lote de café seco se tomaron nueve muestras a diferente altura de la capa, para determinar la humedad utilizando el método estándar de la estufa (ISO 6673). La diferencia absoluta entre los valores de contenido de humedad obtenidos con el método de la estufa y con Gravimet – SM varió entre 0,59% y 0,77%, con error estándar de 0,11% a 0,15% respectivamente. En 56 de los 60 ensayos realizados (93,3%) el café presentó humedad final en el rango de 10% a 12%. El método Gravimet – SM es adecuado para determinar la humedad del café durante el secado en silos tipo Cenicafé, permitiendo un mejor uso de la energía eléctrica, el combustible y la mano de obra.

**Palabras claves:** Medición de humedad, método directo, secado mecánico, café.

---

## ABSTRACT

In order to determine the coffee moisture content during the drying process in a Cenicafé type silo, based on the mass loss of a sample placed in a cylinder of 10.16cm of inner diameter, of the same height as the grain layer placed in the dryer, a direct method was evaluated. The coffee sample was previously conditioned by separating vain beans attacked by coffee berry borer, the unpulped coffee cherries and the pulp. The sample was weighted using a low price digital scale (US\$ 20) with a range between 0 and 5kg and a resolution of 1g, and when it loses 47.3% of its initial mass, its moisture content decreases from 53% to 11%, a value required in the Colombian coffee trade (10% - 12%). The method, called Gravimet - SM, was evaluated considering 4 grain layer heights (10, 20, 30 and 40cm) with 15 tests in each one. Nine samples were taken from each dry coffee lot from different heights in the layer to determine the moisture content using the standard stove method (ISO 6673). The absolute difference between the obtained values of moisture content obtained with the stove method and with Gravimet - SM varied between 0.59% and 0.77%, with a standard error between 0.11% and 0.15%, respectively. In 56 of the 60 tests carried out (93.3%) the dry parchment coffee exhibited moisture content from 10% to 12%. The Gravimet method - SM is suitable to determine the coffee humidity during the drying process in Cenicafé type silos allowing a better use of electric energy, fuel and hand labor.

**Keywords:** Moisture measurement, direct method, mechanical drying, coffee.

---

\* Investigador Principal. Ingeniería Agrícola. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

\*\* Estudiante Ingeniería Agrícola. Universidad Nacional de Colombia sede Medellín

\*\*\* Estudiante Ingeniería Eléctrica. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales

\*\*\* Docente, Universidad Nacional de Colombia

En el proceso de secado se reduce el contenido de humedad del café desde 53% (base húmeda) hasta el rango de comercialización, entre el 10% y 12%, con el fin de obtener un producto estable, que conserve su calidad física, organoléptica e inocuidad por amplios períodos, en las condiciones naturales de almacenamiento de las bodegas. Para este proceso, en Colombia, se utiliza el secado solar, para bajos flujos de café, y el secado mecánico para flujos mayores o en sitios donde las condiciones climáticas son adversas para el secado solar (16).

Los equipos utilizados en Colombia para el secado del café con aire forzado son de capa estática, con 2 a 3 capas de granos, de 40 ó 20 cm de altura, con temperatura y flujo del aire recomendados de  $50\pm 3^{\circ}\text{C}$  y  $100\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{t}^{-1}$  de café pergamino seco (c.p.s), respectivamente (13, 14). Bajo estos parámetros de secado, el tiempo del proceso es de aproximadamente 18 h.

Para decidir la finalización del proceso de secado del café se utilizan métodos empíricos basados en el color y la dureza de las almendras. Estos métodos, en general, no son confiables, tal como se observó en un estudio efectuado por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia (3), con 623 muestras de café pergamino, obtenidas en igual número de fincas. Se encontró que el 25% de ellas tenían menos del 10% de humedad y el 13% más del 12% de humedad, es decir, el 38% de ellas no presentaba el contenido de humedad final exigido en la comercialización, lo cual ocasiona pérdida en la calidad del café y afecta los ingresos del productor (3).

Los métodos utilizados para medir la humedad de los granos se clasifican en directos e indirectos (2). En los métodos indirectos se determina la humedad de los

granos a partir de alguna propiedad física relacionada con ella. Tal es el caso de la resistencia eléctrica, utilizada para medir la humedad del arroz antes de la cosecha; la constante dieléctrica y la permisividad eléctrica de los granos son útiles en la determinación rápida y no destructiva, de la humedad de los granos, debido a las altas correlaciones entre las propiedades dieléctricas de los granos y la cantidad de agua presente en ellos, a diferentes frecuencias (9). La tecnología ofrecida comercialmente para medir el contenido de humedad de los granos, en su gran mayoría está basada en la medición de la constante dieléctrica del material, sin embargo, no es apropiada para medir la humedad “en tiempo real”, en el proceso de secado, debido a que mide la humedad periférica de los granos que es inferior a la de su interior (4, 16).

Kandala y Nelson (7) diseñaron y evaluaron un dispositivo de placas planas paralelas, para determinar la humedad en pequeñas muestras de maní en grano, utilizando frecuencias de 1 y 5 MHz, y en cáscara, con frecuencias de 1 y 9 MHz. Los resultados obtenidos en más del 85% de las muestras fueron superiores a los obtenidos con el estándar de la estufa, en el rango de 5% al 22% de humedad.

Se han desarrollado métodos basados en mediciones acústicas para diferentes granos. Amooodeh *et al.* (1) diseñaron y evaluaron un dispositivo acústico para medir la humedad de trigo en el rango de 8% a 20%, observando un error máximo de 1,5%. Según los autores, la sensibilidad del equipo es afectada por la superficie de deslizamiento de los granos y su altura de caída. Sáenz y Gómez (17) utilizaron ultrasonido para medir la humedad de arroz durante el proceso de secado, en el rango de humedad de 5% al 23%. Los valores de respuesta del sistema (en mV) y contenido de humedad del arroz se ajustaron

a un modelo parabólico, obteniendo un coeficiente de determinación de 0,98. Los autores consideran que el ultrasonido es promisorio para la medición en línea de la humedad de granos durante el proceso de secado.

Relaciones entre aspectos morfológicos como área, perímetro, longitud y radio de los granos se han considerado en la determinación del contenido de humedad de granos de trigo en el rango de 12,5% a 19,7% (b.h.), utilizando visión artificial, observando que éstos aumentan linealmente con el incremento de la humedad (15). También se ha utilizado atenuación y cambio de fase de micro-ondas para determinar la humedad de granos, en línea, desarrollando equipos que se ofrecen comercialmente (8).

Los métodos indirectos necesitan de los métodos directos para ser calibrados. Jiménez y Mata (5) mencionan que la calibración de los medidores no se ha estudiado con rigurosidad científica.

Oliveros y Roa (11) desarrollaron un medidor de humedad denominado MH-2, basado en la evaporación y condensación de la humedad contenida en el grano de café (11, 16). Aunque la precisión observada con el MH-2 en el rango de 10,4% a 45,8% de humedad (+/- 0,5%), es adecuada para utilizarlo en la medición de humedad del café, no fue adoptado en Colombia principalmente por requerir cerca de 20 minutos para determinar la humedad de una muestra, por la destrucción de éstas, de 3 a 5 muestras de 100 g cada una, y por el relativo alto costo del equipo ofrecido por la industria nacional.

En el método directo, se extrae el agua presente en los granos. Los medidores de humedad de tipo directo ofrecidos comercialmente no son apropiados para el

control en línea del proceso en silos, debido a que se requieren de 20 a 30 minutos para extraer la muestra, colocarla en el dispositivo y esperar la lectura de humedad, tiempo durante el cual los granos pueden reducir su humedad a valores notoriamente inferiores al 10% (13, 14).

Oliveros *et al.* (10) desarrollaron un método directo, no destructivo, para medir la humedad del café durante el proceso de secado solar, en tiempo real, denominado Gravimet, basado en la relación en peso para el café pergamino en los estados húmedo y seco. Para su aplicación se utiliza una canastilla fabricada en malla plástica, en la cual se deposita una muestra de 200 g; cuando su peso disminuye a 104 - 105 g, la humedad del café debe estar entre el 10% y el 12%. El método fue evaluado en fincas de caficultores en los departamentos de Antioquia, Caldas y Quindío, observando que el 93% de las muestras extraídas presentaron contenido de humedad entre el 10% y el 12% (6). Jurado *et al.* (6) obtuvieron un error absoluto promedio de 1,0% para el método Gravimet en el rango de 53% a 10% bh.

En esta investigación se evaluó un método directo desarrollado para medir la humedad del café durante el proceso de secado en silos, en capas de hasta 40 cm de altura.

## MATERIALES Y MÉTODOS

**Localización.** La investigación se realizó en el Beneficiadero Experimental de Cenicafé, ubicado en el municipio de Chinchiná (Caldas), a una altitud de 1.310 m, latitud N 4° 59' y longitud W 75° 36', con promedios de temperatura y humedad relativa de 21°C y 78%, respectivamente. Se utilizó café Variedad Castillo® (*Coffea arabica* L.).

**Materiales.** El método evaluado consta de un dispositivo y un procedimiento.

El dispositivo denominado Gravimet – SM (Secado Mecánico), consta de:

·Un receptor de granos, conformado por dos cilindros concéntricos (Figura 1), fabricados en lámina de acrílico de 2 mm de espesor. El cilindro interior tiene 10,16 cm de diámetro y el exterior 11,2 cm, con longitudes de 40 y 42 cm, respectivamente. El cilindro interior tiene en su fondo una malla con 25% de área perforada, para retener los granos de café sin presentar resistencia al flujo del aire, que afecte las condiciones de secado del café contenido en su interior, que se espera sea similar al resto de la capa de granos.

·Una balanza electrónica Mettler PB 8001, con rango 0 a 5 kg y resolución de 0,1 g, para pesar la muestra de café.

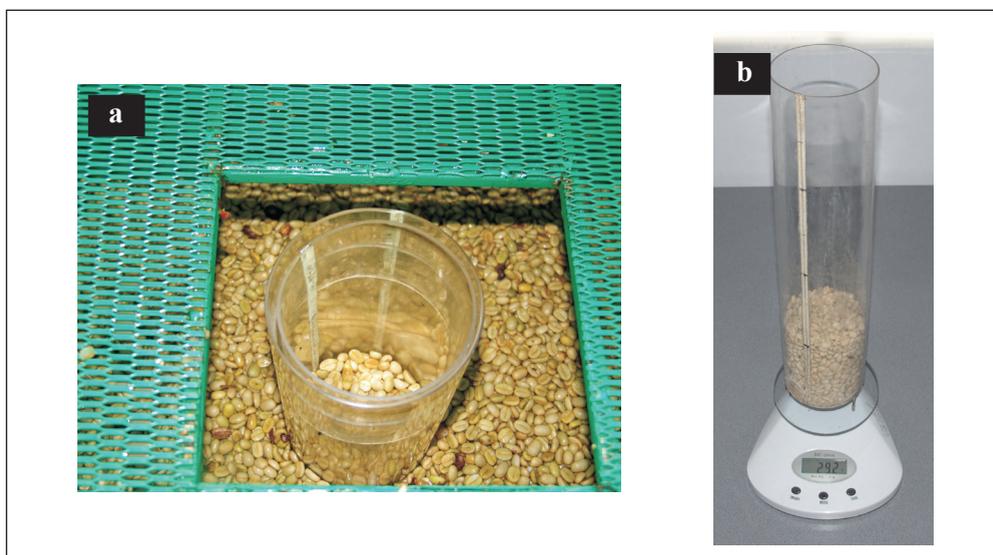
El procedimiento empleado para medir la humedad del café durante el secado en silo con Gravimet – SM fue el siguiente:

·El cilindro exterior del receptor de granos se colocó sobre la malla del silo, en posición vertical (Figura 2), fijándolo a ésta por medio de tornillos en su base.

·Se depositó la masa de café en la cámara de secado.

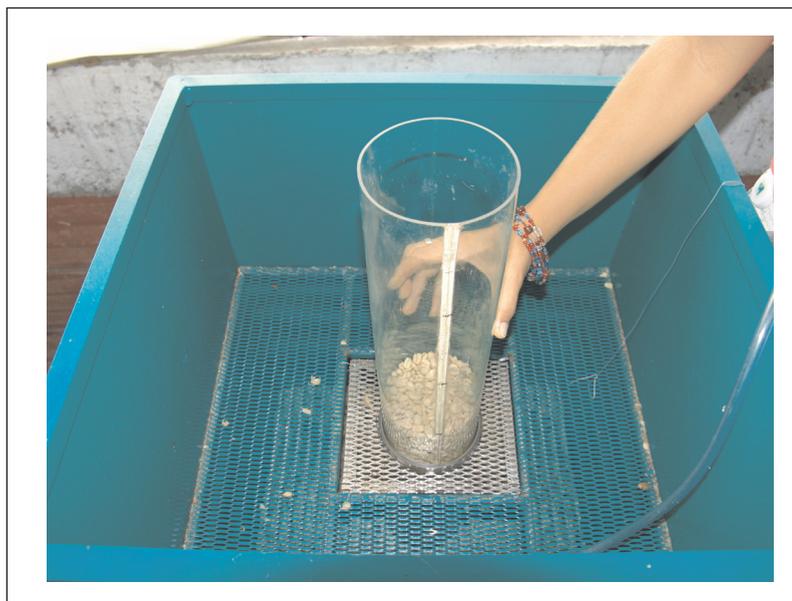
·De la masa de café que a secar en el silo se tomaron aproximadamente 3 kg, y a ésta se le retiró la pulpa, los frutos sin despulpar, los granos brocados y con daño mecánico visible. Del café limpio obtenido se extrajo la muestra para colocar en el cilindro interior del receptor de granos hasta una altura igual a la capa de la masa de granos a secar.

·El café contenido en el cilindro interno del receptor se pesó cada 2 h, hasta alcanzar un contenido de humedad del 15%, a partir del cual se pesó cada 30 min., hasta que la humedad estuvo en el rango del 10% al 12%, utilizando la <<Ecuación 1>> (valor observado). Posteriormente, la masa de café en el silo, se enfrió ventilándola con aire ambiente durante 30 minutos.



**Figura 1.** Dispositivo Gravimet SM. **a.** Receptor de granos; **b.** Balanza electrónica utilizada para pesar el café contenido en el receptor.

**Figura 2.**  
Ubicación del cilindro externo del receptor de granos sobre la malla del secador.



$$Ch(t) = \left[ 1 - \frac{P_i}{P(t)} (1 - Chi) \right] \times 100 \quad \langle\langle 1 \rangle\rangle$$

Donde:

Ch(t): Contenido de humedad obtenido con Gravimet SM, valor observado

Chi: Humedad inicial, con valor de 53%, citada por Oliveros *et al.* (10)

Pi: Peso inicial de la muestra

P(t): Peso de la muestra al momento de hacer la lectura

Este procedimiento se aplicó con cuatro alturas de capa de grano a 10, 20, 30 y 40 cm, con las cuales se realizaron 15 pruebas en cada una de ellas (prueba).

El café empleado en cada prueba se procesó mediante fermentación natural, con separación de impurezas y granos de menor

densidad durante la etapa de lavado. El café lavado se dejó escurrir en un tanque durante 50-60 min, antes de llevarlo al secador.

En cada prueba se utilizó la temperatura de secado,  $50 \pm 3^\circ\text{C}$ , propuesta para café en silos (13, 14) y se midió el flujo de aire utilizando la ecuación propuesta para café por Oliveros y Roa (12).

Para el desarrollo de esta investigación se emplearon dos secadores de capa estática, de tres cámaras de secado, para 94 kg de café seco (c.p.s.) y 56 kg de c.p.s., respectivamente, modificados a tipo Cenicafé (16), con una sola cámara con inversión en la dirección del flujo de aire, uno de los secadores se ilustra en la Figura 3.

Al finalizar el proceso de secado de cada prueba, de la capa externa, media e inferior, se tomaron nueve muestras, de 10 g cada una, para determinar el contenido de



**Figura 3.** Secador modificado a tipo Cenicafé utilizado en los ensayos

humedad utilizando el método de la estufa, con la Norma Técnica Colombiana 2325 (ISO 6673), al cual se le denominó valor real.

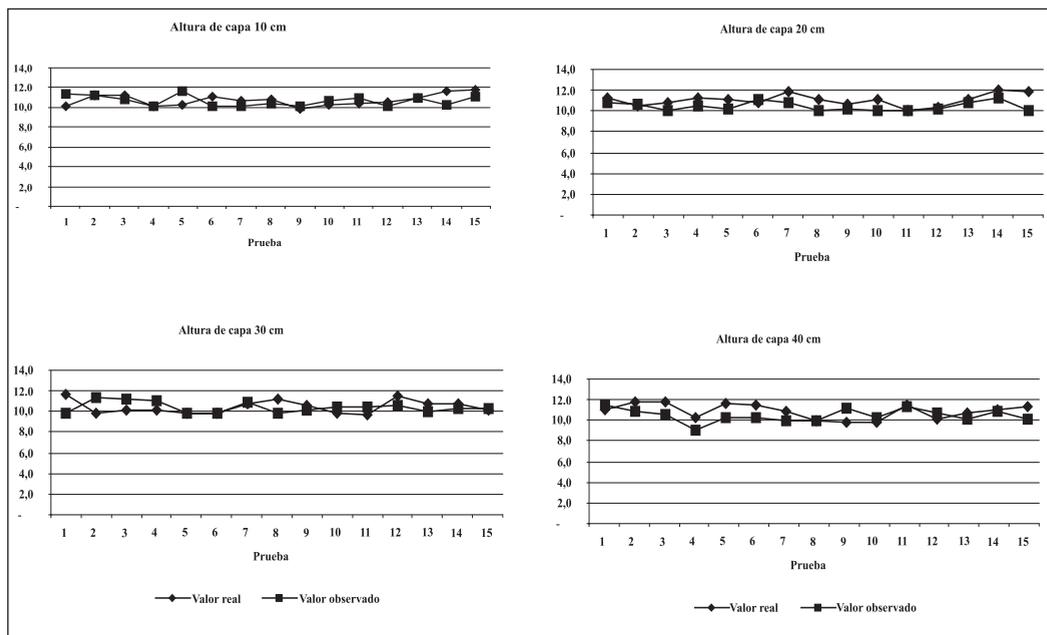
Con los valores de humedad real (valor real) y observado (valor observado), obtenidos en cada prueba y en cada altura, se obtuvo la diferencia absoluta (variable de interés). Con ella, se estimó el promedio y el error estándar por altura. Como no hubo diferencia de los promedios de las diferencias absolutas, entre las alturas evaluadas, se procedió a establecer la distribución de frecuencias para la diferencia absoluta relativa, con el propósito de establecer la probabilidad asociada a un valor dado de ella.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores observados y reales de humedad obtenidos para las cuatro alturas de capa de café, se presentan en la Figura 4. En alturas de capa de 10, 20 y 30 cm, solamente en

una prueba el contenido de humedad no estuvo en el rango del 10% al 12%. Con altura de capa de 40 cm en el 86,7% de las pruebas la humedad del café seco, estuvo entre 10% y 12%. Este resultado podría atribuirse al efecto positivo del alto flujo de aire de secado utilizado (Tabla 1), es decir, cuando la altura de capa de granos es menor, el ventilador entrega mayor caudal de aire, lo cual incide en una humedad del café al final del proceso, más homogénea, con un menor coeficiente de variación.

Los promedios de las diferencias absolutas entre los valores reales y observados de humedad final del grano, son iguales estadísticamente entre las alturas consideradas, según prueba de Duncan, al 5% (Tabla 2). Los valores obtenidos de estas diferencias absolutas (Figura 5) son aceptables técnicamente, teniendo en cuenta la desuniformidad de la humedad al final del proceso de secado de café en silos, en capa estática.



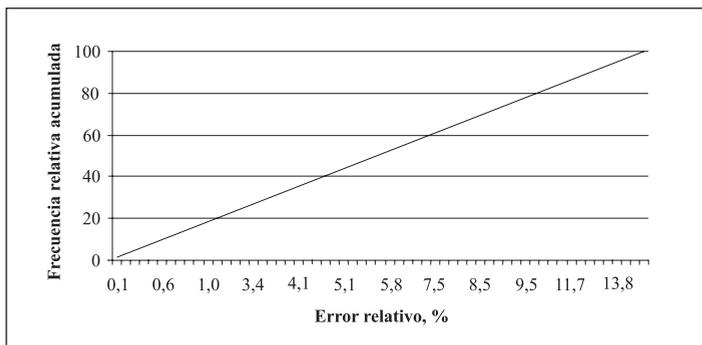
**Figura 4.** Contenidos de humedad del café seco, reales (con el método de la estufa) y observados (con el método Gravimet - SM), para alturas de capa de 10, 20, 30 y 40 cm.

**Tabla 1.** Caudales y flujos de aire de secado utilizados en los ensayos de secado. Humedad del café 53% b.h.

Altura (cm)	Caudal de aire		Flujo de aire	
	$m^3 \cdot \text{min}^{-1}$		$m^3 \cdot \text{min}^{-1} \cdot m^{-2}$	
	Media	C.V.%	Media	C.V.%
10	8,9	7,6	38,6	9,9
20	8,1	6,8	35,8	7,0
30	6,8	4,5	30,4	4,2
40	2,7	12,8	12,0	14,0

**Tabla 2.** Promedios y errores estándar (E.E.) para las diferencias absolutas de contenido de humedad real y observado.

Altura de capa(cm)	Diferencia absoluta	
	Promedio	E.E (%)
10	0,59	0,11
20	0,66	0,12
30	0,73	0,15
40	0,77	0,12



**Figura 5.**  
Distribución de frecuencias para la diferencia absoluta relativa.

En las 60 pruebas realizadas se observó que con el método Gravimet.SM la diferencia absoluta relativa estuvo entre 0,14% y 17,8%, y dicha diferencia es menor del 10%, con una probabilidad del 80%.

La humedad del café seco obtenido utilizando el método Gravimet – SM, para definir la finalización del proceso de secado, estuvo comprendida entre 9,8% y 11,9% en base húmeda (Tabla 3). Estos resultados son satisfactorios, teniendo en cuenta que en secado mecánico del café, en equipos de capa estática con temperatura de aire de secado y caudal específico de aire de 50°C y 100 m<sup>3</sup>.min<sup>-1</sup>.t<sup>-1</sup> de c.p.s, respectivamente, al final del proceso se presentan diferencias en el contenido de humedad entre las capas

externas e internas superiores a 1% (13, 14). El promedio de humedad del café seco en los 60 ensayos realizados fue 10,8% (cv 5,83%), valor muy cercano al 11,0% esperado. En 56 de los 60 ensayos realizados (93,3%) el café presentó contenido de humedad final en el rango de 10% al 12%.

### Medición de humedad del café en un secador comercial utilizando Gravimet – SM

Se utilizó el método Gravimet – SM para medir la humedad durante el proceso de secado de semilla en un silo tipo Cenicafé, con capacidad estática para 2.000 kg de c.p.s., de dos cámaras, con inversión de la dirección del flujo de aire en cada una. Para el secado de las semillas, se empleó una temperatura del aire de 38±2°C.

**Tabla 3.** Contenido de humedad real, mínimo, máximo y desviación estándar (D.E) para el café seco. Norma Técnica Colombiana 2325 (ISO 6673).

Altura (cm)	Humedad real (% base húmeda)			D.E %
	Media	Mínimo	Máximo	
10	10,7	9,8	11,7	0,59
20	11,0	10,0	11,9	0,14
30	10,6	9,9	11,8	0,66
40	10,8	9,9	11,7	0,68

El café utilizado con el método Gravimet – SM se colocó en un receptor construido en tubería de PVC (sanitaria), de 10,16 cm (4") de diámetro y 50 cm de longitud. En el tubo interno se colocó una malla en su base para retener los granos y permitir el paso del aire con bajas pérdidas de presión. El tubo externo, abierto en ambos extremos, se fijó al piso del silo (malla), en posición vertical, como se observa en la Figura 6. En el cilindro interior solo se utilizó café sano. Las alturas de la capa del café en la cámara de secado y en el interior del cilindro receptor fueron iguales.

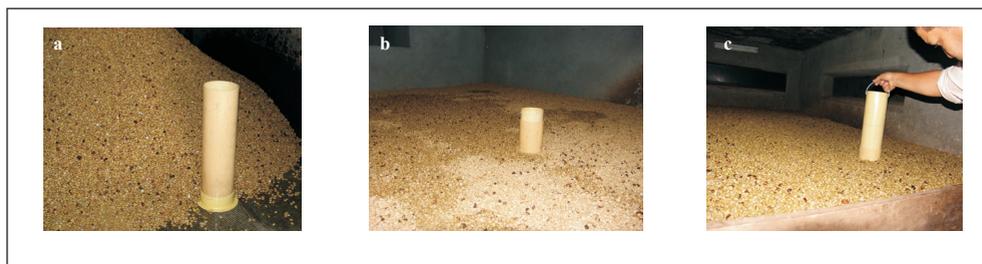
En la Tabla 4 se presentan los resultados obtenidos en nueve pruebas, con altura de capa de granos de 30 a 42 cm. La humedad del café al final del proceso, medida con el método de la estufa fue de 11%, valor final esperado al aplicar el método Gravimet – SM, con un coeficiente de variación de 9,1%, para los nueve ensayos, con variaciones del 10% al 12,6%. En siete ensayos (77,8%) la humedad final varió entre 10% y 12%. El promedio de la diferencia absoluta del contenido de humedad, para los nueve ensayos realizados fue de 0,9%, con coeficiente de variación de 88,7%; en seis de los ensayos (66,7%) fue inferior a 1%. Los mayores valores de diferencia absoluta se pueden atribuir a la mayor desuniformidad de la humedad final

del café que se presenta en el secado en silo en capa estática, con altura de 40 cm o más alta.

Para la aplicación del método Gravimet – SM, se requiere de una balanza con rango de 0 a 5 kg y resolución de 1 g, con costo aproximado en el mercado colombiano de US\$ 20, y un receptor para depositar la muestra de café, con costo aproximado de US\$ 15. Con el método Gravimet – SM se puede obtener café seco en el rango del 10% al 12%, exigido en la comercialización, en secadores tipo Cenicafé, y disminuir el costo del secado, por el mejor aprovechamiento de la energía eléctrica, el combustible y la mano de obra. Los mejores resultados con Gravimet –SM se obtienen con menores gradientes de humedad al final del proceso de secado, los cuales se presentan en los secadores de capa estática tipo Cenicafé, en los cuales se utiliza la temperatura y el caudal específico de aire recomendados para el café de  $50\pm 3^{\circ}\text{C}$  y  $100\text{ m}^3\cdot\text{min}^{-1}\cdot\text{t}^{-1}$  c.p.s., respectivamente (13, 14).

De los resultados obtenidos en esta investigación se puede concluir que:

El método Gravimet – SM es adecuado para medir la humedad del café durante el secado en silos tipo Cenicafé, con inversión



**Figura 6.** Medición del contenido de humedad del café durante el secado en silos con la tecnología Gravimet – SM. **a.** Ubicación del cilindro exterior del receptor de granos; **b.** Llenado del silo y del cilindro interior del receptor a igual altura de capa; **c.** Extracción del cilindro interior con café para la determinación del peso del café.

**Tabla 4.** Valores de humedad de café secado en silo, con temperatura de aire de secado de 38 a 40°C, utilizando el método Gravimet-SM, para determinar el final del proceso.

Ensayo	Altura capa(cm)	Humedad Capa de Café (%)		Diferencia absoluta(%)
		Gravimet - SM	Estufa	
1	42	10,4	12,6	2,2
2	34	11,0	11,3	0,3
3	40	10,3	12,5	2,2
4	40	10,6	10,2	0,4
5	35	9,7	10,0	0,3
6	30	9,5	10,3	0,8
7	32	10,8	11,3	0,5
8	40	8,8	10,0	1,2
9	30	10,8	11,0	0,2
<b>Promedio</b>		<b>10,2</b>	<b>11,0</b>	<b>0,9</b>
<b>C.V.</b>		<b>7,2</b>	<b>9,1</b>	<b>88,7</b>

del flujo de aire, con altura de capa de granos de 10 a 40 cm. Las humedades obtenidas con el método Gravimet –SM y con el método estándar de la estufa (ISO 6673) son estadísticamente iguales. Las diferencias absolutas entre ambos métodos varían de 0,59% a 0,77% y el error estándar de 0,11% a 0,15%, con el menor valor con altura de capa de 10 cm. Los resultados indican que el método Gravimet – SM puede facilitar el manejo de los equipos, contribuir a la disminución de los costos de secado (combustible, energía eléctrica y mano de obra) y obtener mayores ingresos por la mejor calidad física del producto obtenido.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo agradecen el apoyo de la Dra. Esther Cecilia Montoya R., de la disciplina de Biometría de Cenicafé,

por la asesoría recibida en la planeación y en el análisis de los resultados, y a los colegas y colaboradores de la Disciplina de Ingeniería Agrícola de Cenicafé.

#### LITERATURA CITADA

1. AMOODEHM., T.; KHOSH TAGHAZAM., H.; MINAEI S. Acoustic on-line grain moisture meter. Computers and Electronics in Agriculture 52: 71-78. Elsevier. (2006)
2. BROOKER B., D.; BAKKER-ARKEMA F., W.; HALL W., C. Drying and storage of grain and oilseeds. An AVI book, New York: Published by Van Nostrand Reinhold: 01-450. 1992.
3. FEDERACIÓN NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. FEDERACAFÉ. Análisis de la encuesta sobre beneficio y calidades de café. Documento interno, Sección Ingeniería Agrícola. Cenicafé. Enero 1984.

4. GILLAY B.; FUNK D., B. 2006. Effects of moisture distribution on measurement of moisture content of dried corn. *Acta Alimentaria*, Vol 35 (2): 171-181. 2006.
5. JIMÉNEZ R.; BULGARELLI J. Determinación del contenido de humedad en granos de café (*Coffea arabica* L.) con los medidores Motomco 919 y Tecator P25. *Agronomía Costarricense* 16(2): 211-218. 1992
6. JURADO CH., J.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., E.C.; GARCÍA A., J. Evaluación del método Gravimet para la medición del contenido de humedad del grano en el secado solar del café. *Cenicafé* 60(2): 135-147. 2009.
7. KANDALA C., V.K.; NELSON S., O. Non destructive moisture determination in small samples of Peanuts by RF impedance measurement. *Transactions of the ASABE*. Vol 48. N°2. Marzo/Abril: 715-718. 2005.
8. KRASZEWSKI A.W.; TRABELSI S.; NELSON S., O. Moisture content determination in grain by measuring microwave parameters. *Measurement, Science Technology*. Vol (9): 543-544. 1998.
9. NELSON S., O.; KRASZEWSKI A.W.; TRABELSI S.; LAWRENCE K.C. Using cereal grain permittivity for sensing moisture content. *IEEE Transactions on instrumentation and measurement*. Vol (49). No. 3. June: 470-475. 2000.
10. OLIVEROS T., C.E.; PEÑUELA M., A.E.; JURADO C.J. Controle la humedad del café en el secado solar, utilizando el método GRAVIMET. *Chinchiná, Cenicafé*, 2009. 8p (Avance Técnico No. 387).
11. OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G. Medidor rústico para café pergamino (CENICAFE-MH-2). *Cenicafé* 40(2): 40-53. 1989.
12. OLIVEROS T., C.E.; ROA M., G. Pérdidas de presión por el paso del aire a través de café pergamino, variedad Caturra dispuesto a granel. *Cenicafé* 37(1): 23-39. 1986.
13. PARRAC., A.; ROAM., G.; OLIVEROS T., C.E. SECAFÉ Parte I: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico del café. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 12. No.4: 415-427. 2008.
14. PARRAC., A.; ROAM., G.; OLIVEROS T., C.E. SECAFÉ Parte II: Recomendaciones para el manejo eficiente de los secadores mecánicos de café pergamino. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Vol. 12. N°4: 428-434. 2008.
15. RAMALINGAM G.; NEETHIRAJAN S.; JAYAS D.S.; WHITE N.D.G. Characterization of the influence of moisture content on single wheat kernels using machine vision. *CSBE/SCGAB 2009 Annual Conference Rodd's Brudenell River Resort, Prince Edward Island, Canada*. Paper No. CSBE09-708: 12-15 July 2009
16. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; ÁLVAREZ H., J.R.; DÁVILAA., M.T.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. *Chinchiná, Cenicafé*, 1999. 300p.
17. SAÉNZ C., L.L.; GÓMEZA., E. Evaluación de un método para la determinación de humedad en un medio poroso empleando ultrasonido. *Revista Ingeniería e Investigación* No. 52, Julio: 37-45. 2003.