

MEDIDOR RUSTICO DE HUMEDAD PARA CAFÉ PERGAMINO (CENICAFE MH-2)

Carlos Eugenio Oliveros-Tascón; Gonzalo Roa-Mejía; José Avarez-Gallo*

RESUMEN

Oliveros T., C.C.; Roa M., G.; Alvarez G., J. Medidor rústico de humedad para café pergamino. *Cenicafé (Colombia)* 40(2): 40-53 1989.

En el Centro Nacional de Investigaciones de Café, CENICAFE, se desarrolló un medidor de humedad rústico para café pergamino, de fácil construcción y operación y bajo costo, basado en el método de destilación de Brown-Duvel y en ensayos del CENTREINAR en Brasil. Se evaluó su precisión en el laboratorio mediante 100 lecturas, con humedad entre 10,4 a 45,8% b.h. Los valores obtenidos con el medidor MH-2 y con el método estándar de la estufa fueron ajustados a un modelo lineal simple y se obtuvo un coeficiente de determinación de 99,76% y un error estándar de la regresión de 0,51% b.h. La precisión fue de 0,51% b.h. Al considerar el 5% de probabilidad el rango para el error estándar es de $\pm 1,0\%$ b.h. En 9 beneficiaderos se realizaron 239 determinaciones a muestras con humedad entre 7,7 a 28% b.h., durante y al final del secado. Los valores se ajustaron al modelo lineal simple y se obtuvo un coeficiente de determinación de 75,01% y un error estándar de 1,19% b.h., valores estos superiores a los obtenidos en laboratorio pero aceptables ya que las muestras provenían de secadores de capa fija donde hay desuniformidad en el contenido de humedad final y debido a inexperiencia de los operarios del medidor. La precisión del medidor MH-2 es de 1,0% b.h. y el tiempo para cada determinación es de 20 minutos.

Palabras claves: Secado del café, determinador de humedad, Colombia.

ABSTRACT

At the National Coffee Research Centre, CENICAFE, a moisture meter, the CENICAFE MH-2, has been developed and tested. This meter, for measuring the moisture content of parchment coffee beans, is based on the Brown-Duvel distillation method and on previous work at the CENTREINAR in Brazil. A total of 100 tests were conducted under controlled conditions in the laboratory, with coffee bean moisture content ranging between 10.4 to 44.8% w.b. The values obtained by the MH-2 and by the standard method of oven drying, fitted to a linear model, gave a coefficient of determination of 99.76%. According to these results the precision of the MH-2 moisture meter, under laboratory conditions, is 0.51 b.h. Considering a probability of 5% for the standard error its range of variation is $\pm 1.0\%$ w.b. At 9 different farms, and using samples obtained during and after the drying process, 239 readings with moisture content ranging from 7.7 to 28% w.b. were taken. The values obtained were fitted to a linear model, obtaining a coefficient of determination of 75.01% and a standard error of 1.19% w.b. These results were not as good as those obtained at the laboratory, but they are considered acceptable because the samples tested in the field presented normal variability in their moisture content as they came from fixed bed dryers. In addition, the moisture meter was used by inexpert operators. The MH-2 allows the determination of the moisture content of samples of coffee beans submitted to a drying process with a precision of 1%. The time required for each moisture determination is 20 minutes. It is easy to operate, it has low cost, acceptable precision, high resistance and durability of its components.

Keywords: Drying process, moisture meter, Colombia.

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

Para determinar el contenido de humedad los caficultores se guían por métodos subjetivos, tales como la observación del color de la almendra y su dureza evaluada con las uñas, dientes o con el filo de una navaja. Estos métodos arrojan, en general, resultados erróneos, como se observó en una encuesta efectuada por la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, (7). De 623 muestras de café pergamino beneficiadas en igual número de fincas, el 25% tenían menos del 10% de humedad y el 13% tenían más del 12%, o sea que sumando los dos extremos de defecto y de exceso de humedad, el 38% de las muestras no poseían el contenido de humedad final adecuado.

Es necesario controlar la humedad para que los granos se puedan conservar adecuadamente. Actividades fisiológicas como la respiración toman lugar con mayor intensidad cuando el grano presenta alto contenido de humedad; se consume materia seca y se libera calor, lo cual se traduce en pérdida de peso del producto y de la calidad.

Adicionalmente, el aire intersticial adquiere niveles altos de humedad relativa por lo cual la actividad de los microorganismos, especialmente hongos, se incrementa considerablemente contribuyendo al deterioro, a veces total, de la calidad del producto. Estos procesos bioquímicos son más críticos en regiones de clima cálido (3, 12).

Los métodos empleados para la determinación del contenido de humedad de los granos pueden clasificarse en directos e indirectos. Existen algunos métodos directos que en alguna forma se han propuesto para el café, en sus diferentes estados: el Método de Referencia Fundamental propuesto por Guilbot (9) para café trillado; Smith (22) obtuvo buena reproducibilidad en las determinaciones de contenido de humedad en café pergamino

utilizando este método. El Método Estándar propuesto en la norma ISO 6673 de 1982 (13) para café trillado, el cual es utilizado por el Departamento de Calidades de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia para la calibración de los medidores indirectos utilizados para la determinación de la humedad en café pergamino seco (19). El Método de la Estufa a $130^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ que puede utilizarse en una o en dos etapas conforme exista o no, un período de reposo en la determinación. Ornano *et al.* (18) encontraron que este método presenta ventajas prácticas sobre el método de la estufa a 105°C en las determinaciones de humedad de café trillado. Kelemen *et al.* (14) compararon el método de la estufa a 130°C con una y dos etapas con el método propuesto por Marcusson y encontraron que el método gravimétrico de dos etapas y el método de Marcusson dan valores de humedad más altos que el método de una etapa, que es el método adoptado en Hungría.

Posada *et al.* (19) encontraron que el método de la estufa a 90°C y el método de la estufa a $105^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ durante 16 horas \pm 0,5 horas dan resultados equivalentes.

En años recientes se ha dado considerable importancia al método de Karl Fisher para determinar el contenido de humedad de una amplia variedad de materiales. Como el método mide cuantitativamente las reacciones químicas, es teóricamente uno de los más precisos para determinar el contenido de humedad. El método ha sido adaptado con éxito para todos los granos de cereales y es usado para probar la exactitud de los métodos oficiales de la estufa (17).

Resultados confiables se obtienen con el Método de destilación de Brown-Duvel que utiliza un líquido no volátil con temperatura de fraccionamiento específica (6) para cada producto a analizar. Dexter, citado por Hill-

man (11), desarrolló un determinador de humedad para materiales vegetales. El equipo es una versión simplificada del medidor Brown-Duvel.

El éxito en la determinación del contenido de humedad, según Fetzner (8), depende no solamente del equipo o de la técnica utilizada sino de un cuidadoso estudio de las características físicas y químicas del material a ser evaluado. Para el caso específico del método de Brown-Duvel la temperatura es un factor crítico que debe ser determinado para cada material con el fin de disminuir la remoción de sustancias del grano, diferentes del agua.

Merrit y Proctor (15) estudiaron el efecto de la temperatura sobre la remoción de sólidos solubles, cafeína, ácido clorogénico y taninos en granos de café de diferente procedencia, sometidos a tostación.

Los métodos indirectos miden una propiedad del grano que varía con su contenido de humedad. Las propiedades más estudiadas, y que han permitido desarrollar medidores de humedad de amplia utilización, son la conductividad eléctrica y la capacidad dieléctrica.

La resistencia o la conductividad eléctrica de un sólido poroso varía con el contenido de humedad. Este principio es aplicado en la construcción de determinadores de humedad. La resistencia eléctrica de un material también varía con la temperatura. Por esta razón, al determinarse la humedad de los granos, con temperatura elevada, se obtienen valores superiores a los reales y se requiere hacer la corrección por temperatura (10).

Las propiedades dieléctricas de los productos dependen de su contenido de humedad. En Colombia se utilizan los medidores

del tipo dieléctrico para el recibo del café en pergamino en los puestos de compra establecidos por ALMACAFE. Anualmente se verifica su exactitud en el Laboratorio de Investigaciones de la Química del Café, LIQC, en Bogotá.

Posada *et al.* (19) compararon las lecturas obtenidas en el rango de humedad de 8 a 18% b.h. con los medidores Kappa modelos AK 60-465, KA 60-475, AB 170-569 Y AB 55 y el medidor Dole-107862 y con el método de la estufa propuesto por ISO para café trillado (13) y concluyeron que los medidores Kappa muestran buena precisión en las lecturas y un alto grado de repetibilidad en el rango de 8 a 18% b.h. El medidor Dole posee una sensibilidad baja para humedades inferiores al 10% b.h. y la calibración de los medidores Kappa es de gran estabilidad ya que los valores obtenidos con 21 años de intervalo (1961-1981) no presentan diferencias significativas.

Se han estudiado, con poco éxito, otros métodos indirectos basados en la posible influencia del contenido de humedad sobre propiedades físicas de los granos tales como el coeficiente de fricción estático, el nivel de sonido producido por los granos al caer desde alturas y sobre superficies específicas y la resistencia a la deformación y a la rotura cuando son sometidos a la acción de cargas determinadas (1, 2, 16, 23, 24).

Actualmente no se dispone de medidores de bajo costo y de fácil operación, suficientemente precisos, que puedan ser utilizados a nivel de finca por el caficultor colombiano. Por lo tanto, en este estudio se dio continuidad a los trabajos realizados por Sasseron *et al.* (20), en el Brasil, con el objeto de desarrollar un medidor de humedad que cumpliera con las características mencionadas.

MATERIALES Y METODOS

En Brasil, Sasseron *et al.* (20) diseñaron un medidor de humedad para granos, basado en la técnica de destilación de Brown-Duvel. El equipo, de construcción rústica, de bajo costo y fácil de operar, permitió obtener resultados comparables a los obtenidos con medidores indirectos, de mayor costo. En la Figura 1 se muestran las características físicas y los componentes de este medidor de humedad.

El procedimiento consiste en pesar una muestra de 100 gramos y colocarla en el recipiente con aceite vegetal, calentar la mezcla hasta que alcance un valor previamente calibrado, el cual se mide con un termómetro. El calor transferido a los granos permite evaporar toda el agua del grano, la cual se condensa, y se mide en una probeta graduada.

Basados en el modelo del determinador de humedad desarrollado por Sasseron *et al.* (20) y por Dexter, citado por Hillman (11), se diseñó en CENICAFE el equipo mostrado en las Figuras 2 y 3. El equipo posee básicamente todos los elementos del medidor desarrollado

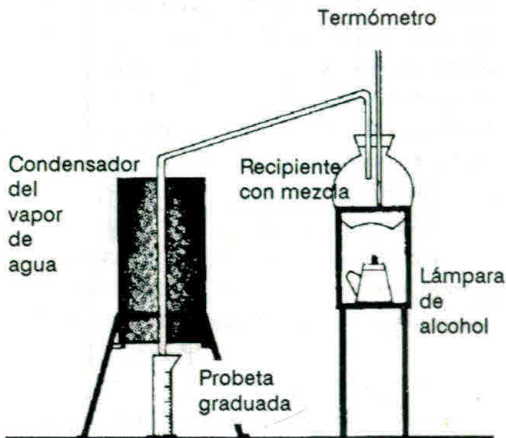


Figura 1. Determinador de humedad rústico desarrollado en el Brasil (26)

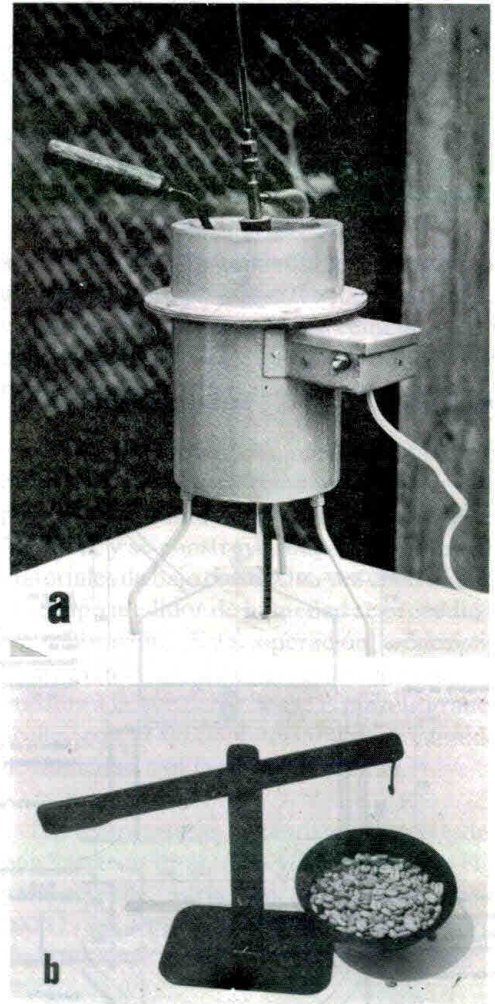
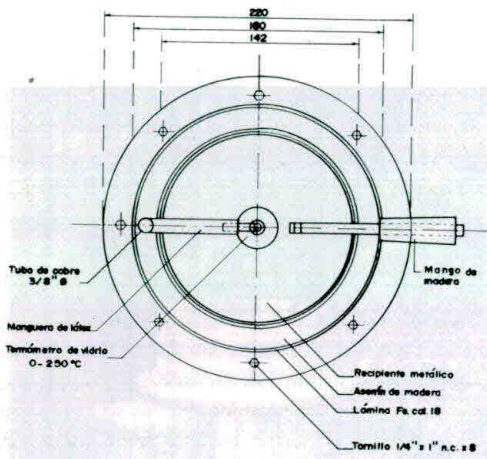


Figura 2. Determinador de humedad rústico CENICAFE MH-1. a. Cuerpo del determinador. b. Balanza rústica de plato para 100 gramos.

en el Brasil, pero es marcadamente diferente en los siguientes aspectos, que lo caracterizan como el medidor de humedad de café pergamino, modelo CENICAFE MH-1:

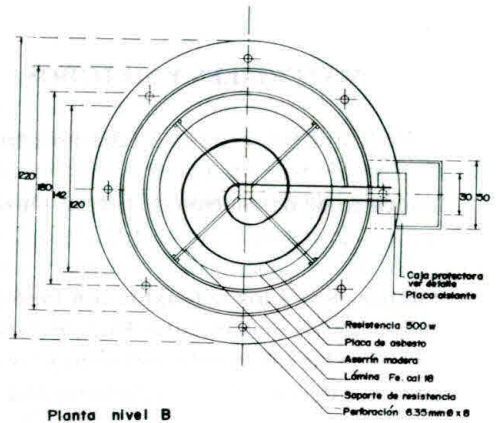
- Los elementos constituyentes del medidor tales como el recipiente de la mezcla café aceite, condensador y resistencia eléctrica,



Planta nivel A

DETERMINADOR DE HUMEDAD

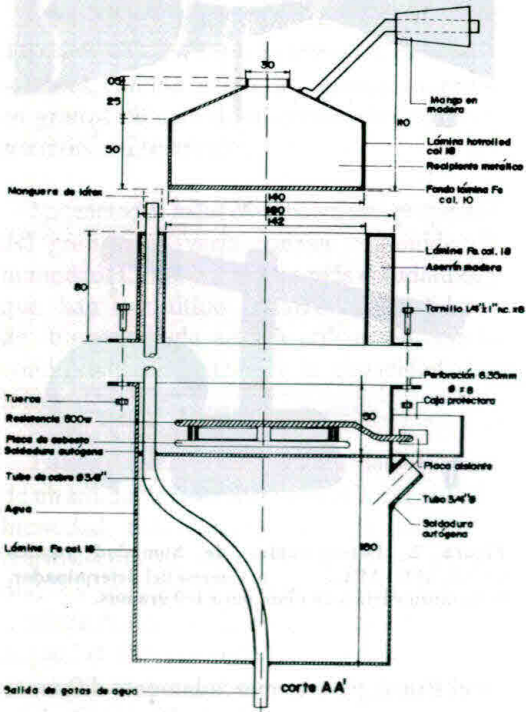
ESC 1:25
medidas mm.



Planta nivel B

DETERMINADOR DE HUMEDAD

ESC 1:25
medidas mm.



DETERMINADOR DE HUMEDAD

ESC 1:25
medidas mm.

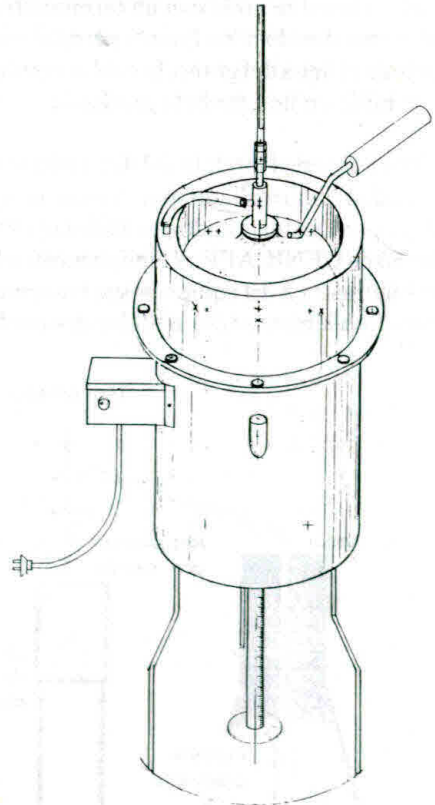


Figura 3. Plantas, corte lateral y perspectiva isométrica del determinador de humedad CENICAFE MH-1.

están dispuestos en un solo cuerpo, lo cual facilita su manejo y aumenta su durabilidad.

- La fuente de energía necesaria para la evaporación del agua es eléctrica.

Se seleccionó una resistencia de 550 W, la cual corresponde a la resistencia interior del conjunto de una resistencia eléctrica de una estufa convencional de 1.200 W a 110 voltios. Para condensar el vapor extraído de los granos se diseñó un condensador compuesto por un tubo de cobre de 6,35 mm (1/4"), de diámetro nominal y de 25 cm de longitud, doblado en forma de L invertida, girado 45 grados. El tubo se sumerge en agua en un depósito de 2,7 litros de capacidad, valor que resultó de los siguientes criterios de diseño: la entalpía de condensación de la masa máxima de agua a extraer; la pérdida de energía en forma de calor sensible para enfriar el agua destilada hasta una temperatura de 40°C; un incremento de 10°C resultante de la condensación del agua. En el dimensionamiento del tanque también se consideró la necesidad de disponer de una altura que permitiera la inmersión de por lo menos 25 cm del tubo de cobre. Mediante un balance de energía en el sistema (recipiente metálico, aceite, muestra de café y tapón de caucho), el cual incluye la energía para su calentamiento, la energía para evaporar la humedad del grano y las pérdidas de energía al ambiente, y al considerar un tiempo de 10 minutos para que la mezcla café-aceite alcance una temperatura de 190°C, se obtuvo que la potencia a disipar debía ser de 489 W. De acuerdo a estas consideraciones el diámetro seleccionado fue de 15 cm y la altura de 15 cm.

El recipiente que contiene la mezcla granos de café-aceite fue construido en lámina de hierro calibre 3,18 mm (1/8") para darle suficiente resistencia y duración.

Se seleccionó un tapón de caucho gris para la boca del recipiente y una manguera de látex para conducir el vapor desde el recipiente hasta el condensador. Estos materiales, que son de bajo costo, presentaron un excelente comportamiento y una larga vida útil.

Con el fin de reducir el calentamiento del agua del tanque del condensador, por la energía producida por la resistencia eléctrica, se colocaron 2 placas de asbesto cemento de 15 cm de diámetro y 3,5 mm de espesor entre la resistencia eléctrica y el condensador.

La balanza (Figura 2), resultante también de un proceso de perfeccionamiento, permite pesar 100 gramos con una precisión de 1 gramo, y se construye muy fácilmente con materiales de bajo costo. Una vez contruido el prototipo medidor de humedad se procedió a su calibración. Esta operación consistió básicamente en determinar la temperatura máxima a la que debía llegar la mezcla grano-aceite, con el fin de determinar el contenido de humedad con la mayor precisión.

Las temperaturas de destilación reportadas por Sasseron *et al.* (20) y por Hillman (11), para cereales, varían en el rango de 180 a 200°C. Para granos, en los medidores tipo Brown-Duvel, varía en el rango de 185 a 210°C.

Para el caso específico del café, Merrit y Proctor (15) reportan pérdidas significativas de ácido clorogénico y de taninos cuando la temperatura, en un proceso de tostación, es superior a 190°C.

Teniendo en cuenta las consideraciones antes mencionadas se realizaron 6 ensayos, con seis repeticiones cada uno, con temperatura máxima de destilación de 190, 195 y 200°C. Se utilizaron muestras de café pergamino de 100 g, obtenidas en balanza con

precisión de $\pm 0,1$ g, con humedad comprendida en el rango de 10 a 13% b.h. Las muestras se colocaron en el recipiente del medidor y se mezclaron con aceite vegetal hasta que fueron cubiertas totalmente. Se conectó el medidor a la red de 115 V y se observó la evolución de la temperatura de la mezcla hasta alcanzar los límites establecidos anteriormente. En ese momento se suspendió el flujo de corriente eléctrica. El tiempo requerido para cada uno de los ensayos fue de 20 minutos. De cada una de las muestras sometidas a determinación de humedad en el medidor CENICAFE MH-1 se tomó otra muestra, a la cual se le determinó su humedad con el método de la estufa, utilizando la norma ISO 6673 (13).

Los líquidos obtenidos en cada uno de los ensayos fueron analizados utilizando la técnica de cromatografía de alta presión con el fin de determinar el efecto de la temperatura de destilación sobre la remoción de sólidos solubles de la almendra del café, principalmente de ácido clorogénico.

Para determinar la precisión del medidor MH-1 en un rango amplio de humedad, de 10 a 47% b.h., su facilidad de operación, tanto a nivel de laboratorio como a nivel de campo, por usuarios con diferente nivel de instrucción, y para observar la vida útil de los componentes del equipo, se desarrollaron dos etapas: etapa de laboratorio y la etapa de campo.

En la etapa de laboratorio se realizaron un total de 100 determinaciones de contenido de humedad a muestras de café homogeneizadas, con humedades comprendidas en el rango de 10 a 47% b.h. El 75% de las muestras se secaron en estufa a 50°C , a contenido de humedad comprendido en el rango de 10 a 13% b.h., por ser éste el rango más importante en la etapa final del secado.

A las muestras con humedad comprendida entre 10 y 15%, se les determinó su humedad con el medidor MH-1, con el medidor de tipo dieléctrico Kappa AB 55, el cual es el más ampliamente utilizado en Colombia para determinar la humedad del café en las bodegas de ALMACAFE, y con el método de la estufa, aplicando la norma ISO 6673 (13).

Para la etapa de campo se construyeron 9 unidades, similares al modelo inicial, las cuales fueron asignadas a igual número de personas de diferente nivel de instrucción, en beneficiarios de café, para controlar el proceso de secado en equipos con circulación forzada del aire.

Se buscó proteger la integridad del termómetro del medidor MH-1 (Figura 4), con

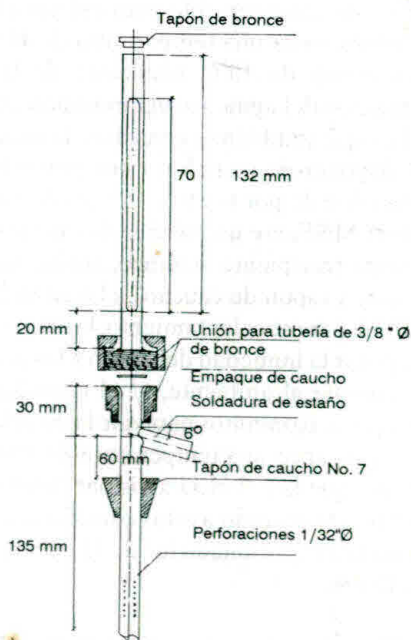


Figura 4. Dispositivo para protección del termómetro (material: tubo $3/8^{\circ}\text{Ø}$ bronce). Determinador de humedad CENICAFE MH-1.

base en la evaluación de campo y en particular por las recomendaciones de los operadores que obligaron a incorporar pequeñas modificaciones al modelo original, las cuales también facilitaron la operación del equipo. El medidor resultante se denominó CENICAFE MH-2.

RESULTADOS Y DISCUSION

Cuando se determina el contenido de humedad por la técnica de destilación se produce una alta evaporación la cual remueve la humedad de la muestra y algunos compuestos químicos diferentes del agua. Por esta razón es necesario determinar, para cada producto, el rango de temperatura que permita una máxima remoción de humedad con mínima remoción de otros componentes del grano.

De acuerdo con Hadorn y Suter, citados por Coste (4) los cafés arábigos contienen entre 32 y 34% de sólidos solubles y las almendras contienen de 4,6 a 4,8% de ácido clorogénico y de 1,16 a 1,19% de cafeína, en base húmeda.

En los ensayos realizados para determinar el rango de temperatura de destilación para café pergamino se observó que el equipo sobreestimaba el contenido de humedad, hasta en tres puntos de humedad (%b.h.) cuando la temperatura de la mezcla era superior a 195°C. Análogamente, cuando la temperatura era inferior a 190°C el medidor subestimaba la humedad del café.

En la Tabla 1 se presentan los análisis de destilados obtenidos en muestras de café provenientes de diferentes lotes y sometidas a diferentes temperaturas de destilación. Cada valor corresponde al promedio de seis determinaciones.

TABLA 1. Concentraciones (p.p.m.) de ácido clorogénico y de cafeína obtenidas con diferente temperatura de destilación. CENICAFE.

Temperatura °C	Acido clorogénico		Cafeína	
	p.p.m.	c.v. (%)	p.p.m.	c.v. (%)
190	287,6	25,3	26,0	12,5
195	621,3	30,2	58,9	42,0
200	907,6	14,2	66,2	6,6

Los resultados de la Tabla 1 muestran, en general, la tendencia a que se extraiga mayor cantidad de ácido clorogénico y cafeína cuando se incrementa la temperatura de destilación. Los coeficientes de variación obtenidos, altos, en general, se podrían atribuir a:

- Diferencias en el contenido de sólidos solubles en los materiales utilizados.
- Temperaturas de destilación ligeramente diferentes para cada una de las muestras remitidas para los análisis. En efecto, según los resultados de la Tabla 1, a niveles de temperatura superiores a 190°C un ligero incremento de la temperatura de destilación ocasiona incrementos notorios en la remoción de ácido clorogénico y de cafeína.
- Errores en la técnica utilizada para la determinación de estos componentes del grano.

Aunque las cantidades de ácido clorogénico mostradas en la Tabla 1 no alcanzan a explicar la cantidad de líquido adicional extraído del grano cuando la temperatura de destilación es superior a 190°C, es posible que se deba al arrastre de otros componentes solubles de la almendra como los ácidos orgánicos, que según Hadorn y Suter, citados por Coste (4), pueden representar entre 8 y 10%.

De acuerdo con lo anterior, la remoción parcial o total de los sólidos solubles, entre ellos el ácido clorogénico, afecta significativamente la precisión del determinador de humedad CENICAFE MH-2.

Con base en el análisis anterior se determinó que la temperatura de la mezcla café-aceite debe alcanzar un valor comprendido en el rango de 190 a 193°C. Con ello se debe conseguir una máxima remoción de humedad con mínima remoción de sólidos solubles.

Etapas de laboratorio. De acuerdo con Doebelin (5) la precisión de un instrumento se puede determinar mediante el análisis de regresión lineal entre valores estimados por un instrumento y los valores considerados exactos, en este caso, los obtenidos por el método estándar de la estufa. El error estándar de la regresión se puede considerar equivalente a la precisión del instrumento.

Los valores de contenido de humedad obtenidos por el método de la estufa y con el MH-1, fueron ajustados mediante regresión lineal simple, $y = a + bx$. Los valores de pendiente e intercepto obtenidos fueron 0,980 y -0,082, respectivamente. El coeficiente de determinación y el error estándar de la regresión fueron de 99,76% y 0,5139, respectivamente. De acuerdo con Doebelin (5) la precisión del MH-1 en el rango de 10 a 47% b.h. es 0,51% b.h. Con el valor de error estándar, 0,51% b.h., y si se considera un nivel de probabilidad del 5%, el rango de humedad para el error estándar es de $\pm 1,0\%$ b.h. Esto significa que cuando se utilice el medidor CENICAFE MH-1 el 95% de las veces el error estándar estará contenido en un rango de $\pm 1\%$ b.h.

En la Figura 5 se puede observar el excelente ajuste de los valores experimentales de humedad al modelo lineal simple en el rango de humedad evaluado (10 a 47% b.h.).

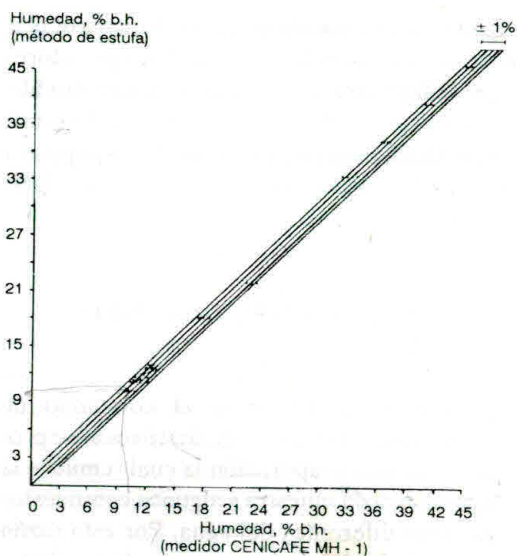


Figura 5. Análisis de regresión lineal para los valores del contenido de humedad en el rango 10 a 47% b.h., obtenidos con el determinador de humedad MH-1 y el de la estufa. CENICAFE.

En la Figura 6 se presentan los valores experimentales de contenido de humedad obtenidos con el medidor CENICAFE MH-1 y con la estufa, en el rango de 10 a 13% b.h. Estos valores experimentales fueron ajustados al modelo lineal simple y se obtuvo un coeficiente de determinación y un error estándar de 73,06% y 0,49, respectivamente. La precisión en este rango, estimándola como sugiere Doebelin (5), es decir considerando el error estándar de la regresión, 0,49% b.h., es similar en los rangos de humedad considerados (10 a 13% y 10 a 47% b.h.). El rango de humedad para el error estándar, si se considera un nivel de probabilidad del 5%, es $\pm 0,97\%$ b.h.

Adicionalmente, se ajustaron los valores de humedad medidos con el medidor Kappa AB 55 y con el método estándar de la estufa al modelo lineal simple, en el rango de 10 a 13% b.h. y se obtuvo un coeficiente de determinación

Humedad en el MH-1, % b.h.

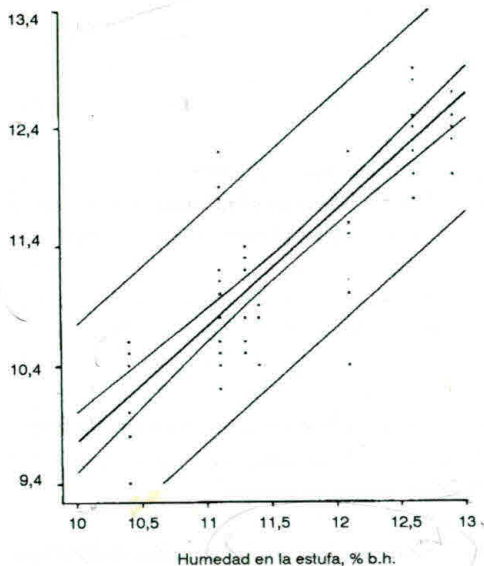


Figura 6. Análisis de regresión lineal para los valores del contenido de humedad en el rango 10 a 13% b.h., obtenidos con el determinador de humedad MH-1 y el de la estufa. CENICAFÉ.

y un error estándar de la regresión de 79,3% y 0,33, respectivamente. Estos valores, como se esperaba, de acuerdo a lo reportado por Posada *et al.* (19), indican que el medidor Kappa es más preciso que el medidor MH-1 para determinar la humedad en granos reposados, es decir, granos en los cuales la humedad se ha redistribuido uniformemente en su interior, en el rango de 10 a 13% b.h.

Etapa de campo. En esta segunda etapa del proyecto se realizaron 239 determinaciones de humedad con lo cual se cubrió el rango de 7,7% a 28% b.h.

Los valores de contenido de humedad obtenidos con el medidor MH-1 y con el método estándar se ajustaron al modelo lineal simple y se obtuvieron valores de coeficiente de determinación y del error estándar para la regresión de 75,01% y de 1,19% b.h., respec-

tivamente. En la Figura 7 se muestra el ajuste de los valores experimentales de contenido de humedad al modelo de regresión lineal.

Aunque no se puede aplicar el criterio de considerar el error estándar como un estimador de la precisión del medidor MH-1 en esta etapa del proyecto, ya que no se realizaron las determinaciones de humedad bajo condiciones controladas, características de un proceso de calibración, se observa un mayor desvío entre las lecturas obtenidas con el MH-1 y con el método de la estufa. Estos resultados se pueden atribuir principalmente a los siguientes factores, que no son fácilmente controlables a nivel de campo:

- Falta de homogeneidad de las muestras extraídas de los secadores mecánicos de capa fija en los cuales se controló el proceso. En estos secadores se presenta una alta desuniformidad en el contenido final de humedad, la cual es mayor en aquellos que no disponen de compuertas para invertir la

Humedad en el MH - 1, % b.h.

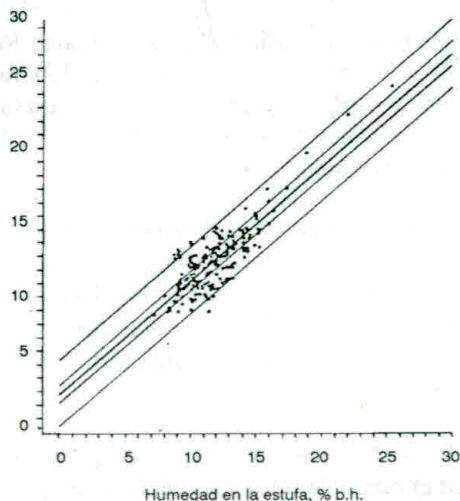


Figura 7. Análisis de regresión lineal para los valores del contenido de humedad % b.h., obtenidos con el determinador de humedad MH-1 y el de la estufa. CENICAFÉ.

dirección del aire. Adicionalmente, en varios de los secadores empleados en este proyecto se utilizó el carbón coque como combustible, quemándolo en equipos denominados comúnmente hornillas, en los cuales no hay buen control de la temperatura del aire de secado (generalmente fluctúa entre 35 y 70°C). Esta circunstancia aumenta sensiblemente la desuniformidad del secado y exige mayores cuidados para la obtención y para la homogeneización de las muestras.

- Los equipos, en esta etapa del proyecto, fueron operados por el personal encargado de las labores de beneficio, generalmente de bajo nivel de instrucción y principalmente flotantes, es decir, con alta rotación. Consecuentemente se incrementan los errores en el pesaje de las muestras y en la lectura en la probeta de la cantidad de agua extraída. Se observó que el mayor porcentaje de lecturas con desvío absoluto inferior o igual a 1% b.h. se obtuvo en las fincas en donde el equipo fue utilizado por la misma persona.

Otro criterio utilizado para comparar los resultados obtenidos en las etapas de laboratorio y de campo fué agruparlos con base a sus diferencias absolutas en tres rangos, en la forma siguiente:

- Grupo 1: desvíos absolutos inferiores o iguales a 0,5%. De acuerdo con el análisis estadístico realizado a los resultados obtenidos en la etapa de laboratorio este valor corresponde a la precisión máxima del medidor MH-1.
- Grupo 2: desvíos absolutos comprendidos en el rango de 0,5 a 1% b.h. Se consideran aceptables ya que se pretende desarrollar un medidor que permita determinar la humedad del café con una precisión de 1,0% b.h.

- Grupo 3: desvíos mayores de 1,0%. Lecturas no aceptables.

Con base en este análisis se deduce lo siguiente:

- El 63% de las lecturas obtenidas en la etapa de laboratorio están contenidas en el Grupo 1, es decir presentaron desvíos absolutos inferiores o iguales a 0,5% b.h. En la prueba de campo el 35% de las lecturas presentaron este comportamiento.
- El 87% de las lecturas obtenidas en la etapa de laboratorio están contenidas en el Grupo 2. En la etapa de campo este porcentaje fue de 64%.
- El 13% de las lecturas obtenidas en la etapa de laboratorio están contenidas en el grupo de rechazo. En la etapa de campo este porcentaje fue de 36%.

En la Figura 8 se presentan los porcentajes de lecturas obtenidas con el medidor MH-1 en las etapas de laboratorio y de campo para cada uno de los grupos de desvíos absolutos definidos anteriormente.

Con base en el análisis estadístico realizado a la información tomada bajo condi-

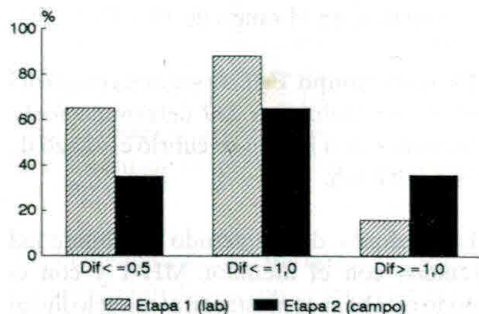


Figura 8. Lecturas (%) obtenidas con determinador MH-1 en las etapas de laboratorio y de campo para tres rangos de desvíos absolutos (D.I.F.)

ciones controladas de laboratorio y en condiciones de campo se puede afirmar que el medidor de humedad CENICAFE MH-1 es un dispositivo que permite determinar la humedad a muestras de café sometidas a **proceso de secado** con una precisión de 1,0% en el rango de humedad del 10 al 47% b.h. Para obtener esta precisión se deben seguir las siguientes instrucciones para la operación del equipo:

- De la muestra global extraída del secador, después de mezclarla, pesar una muestra de trabajo de 100 g con la balanza rústica del medidor.
- Depositar la muestra en el recipiente metálico del medidor y cubrirla completamente con aceite vegetal.
- Conectar el equipo a la red de 115 V y observar cuidadosamente la evolución de la temperatura de la mezcla café-aceite. Desconectar el equipo cuando la temperatura de la mezcla alcance 193°C.
- Después de 20 minutos, leer en la probeta graduada del equipo la cantidad de agua extraída. Si la escala está graduada en mililitros este valor es el contenido de humedad de la muestra en % b.h.

Particular precaución debe tomarse cuando se desea utilizar el equipo en la determinación de humedades del café localizadas en los secadores de capa fija, puesto que los granos dispuestos en diferentes lugares pueden poseer diferentes contenidos de humedad.

Se debe definir, para cada tipo de secador mecánico utilizado, una capa de espesor aproximado a 5 cm, denominada **capa de control**, en la cual se realice el seguimiento del proceso de secado utilizando el medidor MH-2. Para

el caso de los secadores tipo CENICAFE, que disponen de compuertas para invertir la dirección del flujo de aire, la capa de control estará localizada en la mitad de la altura de la capa de granos.

En la segunda etapa del proyecto también se evaluó el equipo desde el punto de vista de su facilidad de operación y durabilidad de sus componentes.

Con base en las recomendaciones propuestas por los usuarios se construyó un dispositivo para proteger el termómetro (Figura 4), que es el elemento más frágil y costoso del equipo. Adicionalmente, con este dispositivo se facilita la remoción del tapón de caucho del recipiente, el cual se calienta sensiblemente después de una determinación de humedad.

Se observó qué componentes del grano, distintos del agua, se adhieren a la pared inferior del tubo de cobre de 6,35 mm utilizado inicialmente para el intercambiador de calor y se forman costras que reducen su eficiencia para el intercambio de calor. Esta es la razón por la cual se presentan pérdidas de vapor de agua al ambiente que afectan la precisión del equipo, especialmente cuando la muestra de café tiene alto contenido de humedad.

Para superar estas limitaciones observadas en la prueba de campo se reemplazó el tubo de cobre de 6,35 mm por otro de 9,53 mm (3/8") de igual longitud. De esta forma se incrementó aproximadamente en 50% su capacidad de intercambio de calor.

Las modificaciones realizadas al medidor CENICAFE MH-1 mencionadas anteriormente, dieron origen al modelo CENICAFE MH-2 el cual permite medir el contenido de humedad de café pergamino sometido a proceso de secamiento con una pre-

cisión de 1,0%. Se puede usar para medir el contenido de humedad en café pergamino en el rango de 50% a 10% b.h. sometido a secamiento, lo que no es posible con los determinadores tradicionalmente utilizados en Colombia, que funcionan con base en las propiedades dieléctricas del grano (medidores Kappa). Es menos preciso que el medidor Kappa, para contenidos bajos de humedad (10 a 18%) b.h., pero su costo es aproximadamente 10 veces menor.

La temperatura máxima a que llega la mezcla aceite-café pergamino influye significativamente en la precisión del medidor CENICAFE MH-2. Se debe desconectar el equipo cuando ésta alcance 193°C.

LITERATURA CITADA

1. BICKERT, W.G.; BUELOW, F.H. Kinetic friction of grains on surfaces. Transactions of the ASAE. (Estados Unidos) 9(1):129-131, 134. 1966.
2. BRUBAKER, J.E.; POS, J. Determining static coefficients of friction of grains on structural surfaces. Transactions of the ASAE. (Estados Unidos). 8(1):53-55. 1965.
3. CASTILLO N., A. Almacenamiento y secamiento de granos en Colombia y en América Tropical. Bogotá (Colombia), Agrosíntesis, 1978. 247 p.
4. COSTE, R. Cafetos y cafés en el mundo. París (Francia) G.P. Maisonneuve y Larose. 1959. 2v.
5. DOEBELIN, E.O. Measurement systems: Application and Design. New York (Estados Unidos) McGraw-Hill Book Company. 1966. 743 p.
6. ESTEVES, A. B. Avaliação do teor em umidade de café crú comercial. Revista do Café Português (Portugal). Nro. 27: 33-74. 1960.
7. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS DE COLOMBIA. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFE. CENICAFE. Chinchiná (Colombia). Análisis de la encuesta sobre beneficio y calidades de café. Chinchiná (Colombia), Cenicafé, 1984. (Documento interno de la disciplina de Ingeniería Agrícola). (Mecanografiado).
8. FETZER, W.R. Some anomalies in the determination of moisture. Agricultural Engineering (Estados Unidos) 35(3): 173-175, 178. 1954.
9. GUILBOT, A. La détermination de la teneur en eau du café vert. I. Examen critique des méthodes existantes; proposition d'une méthode de référence fondamentale. Café, Cacao, Thé (Francia) 8(1): 49-55. 1963.
10. HALL, C.W. Encyclopedia of food engineering. Westport (Estados Unidos), The AVI Publishing Company, 1971. p. 493-502.
11. HILLMAN, D. Easy moisture test for forages and grains. East Lansing (Estados Unidos). Michigan State University. 1972. (Extension bulletin 441).
12. HUNT, W.H.; PIXTON, S.W. Moisture - Its significance, behavior and measurement. In: CHRISTENSEN, C.M. Storage of cereal grains and their products. Saint Paul (Estados Unidos) American Association of Cereal Chemists. 1974. p. 1-19.
13. INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. ISO. Proyecto de normal DIS 6673 DE 05-06. 1982.
14. KELEMEN, M. Sz; ORSI, F.; RAVASZ, L. Evaluation de synthèse des méthodes d'analyse principales utilisées afin de déterminer la teneur en humidité du café en grains verts. Budapest (Hungría), 1971 (Reprint) (Resumen consultado).
15. MERRIT, M.C.; PROCTOR, B.E. Effect of temperature during the roasting cycle on selected components of different types of whole bean coffee, Food Research, (Estados Unidos) 24(6): 672-680. 1959.
16. MIRANDA, S.M.; LEVINE, G. Determining oat grain moisture content by neutron scattering. Transactions of the ASAE, (Estados Unidos) 13(1):46-47. 1970.
17. NEUSTADT, M.H. Measuring moisture in grain. Washington (Estados Unidos). Department of Agriculture. 1963.

18. ORNANO, M. D.; MAHN, D.; POUGNEAUD, S. La détermination de la teneur en eau du café vert. Etude de quelques méthodes dans le cas de teneurs supérieures à onze pour cent. Café, Cacao, Thé. (France). (8) 2. 1964.
19. POSADA, F., E.; ORTIZ, A.; LOPEZ, M.; JARAMILLO, H. Calibración de medidores de humedad para café pergamino por dos métodos de estufa. Bogotá (Colombia), FEDERACAFE, 1982
20. SASSERON, J.L.; CARVALHO, C.H.R.; SOUZA, G.M.C. de. Manual do latatá. Centro Nacional de Treinamento em Armazenagem. Viçosa, MG. (Brasil), Centreinar. p. 9.
21. SINHA, R.N.; MUIR, W.E. Grain Storage: Westport (Estados Unidos), The AVI Publishing Company, 1973. p. 49-68.
22. SMITH, R.F. Report on the determination of moisture in raw coffee beans. In: COLLOQUE International sur la Chimie des Cafés Verts, Torréfiés et leurs Derivés, 2. Paris (France), mai 3 - 7, 1965. Paris (France). ASIC, 1965. p. 27-38.
23. SNYDER, L.H.; ROLLER, W.L.; HALL, G.E. Coefficients of kinetic friction of wheat on various metal surfaces. Transactions of the ASAE, (Estados Unidos) 10(3):411-413, 419. 1967.
24. ZOERB, G.C. Physical properties of wheat for moisture content determination. In: QUALITY Detection in Foods. St. Joseph. (Estados Unidos) ASAE, 1976. p. 158-169.