

Nota Técnica

ESTIMACION RAPIDA DE ALTOS CONTENIDOS DE AGUA (ENTRE 35 Y 50%) EN CAFE PERGAMINO CON EL MEDIDOR DE HUMEDAD MOTOMCO 919¹*

Allan Orozco*, Manuel Zeledón²**

RESUMEN

Se evaluó un método de análisis para estimar el contenido de agua en café pergamino con humedades entre 35 y 50% b.h. con el medidor Motomco 919. Ninguno de los medidores de humedad comerciales en uso, puede usarse con humedades mayores de 35%. El método consiste en mezclar café húmedo y café seco en una relación 50:50 por peso y determinar la humedad de la mezcla y la del grano seco con la tabla de calibración elaborada por Jiménez y Bulgarelli (1992). Se determinó que la humedad del grano húmedo era en promedio subestimada 8.14 puntos porcentuales, dato que se utilizó como factor de corrección en la simple ecuación propuesta para obtener finalmente las humedades estimadas por el método evaluado. Una vez que se incorporó el factor de corrección en los cálculos, fueron comparados los datos de humedad contra los obtenidos con el método ISO-1447; el error máximo obtenido fue de 2.7% y la desviación estándar de 0.79 con un total de 39 muestras. Alternativamente se propone también para el cálculo de la humedad del café, una ecuación algebraica y una ecuación de regresión. Con la técnica propuesta se puede obtener en pocos minutos, información útil y con precisión aceptable para el monitoreo del proceso de secado del café pergamino con altos contenidos de agua.

ABSTRACT

A rapid estimate of high moisture contents (35 to 50%) in parchment coffee with the Motomco 919 moisture meter. A simple procedure that allows the use of the Motomco 919 moisture meter with parchment coffee at 35 to 50% moisture content w.b., was evaluated. Up to now, none of the commonly used moisture meters can be used with acceptable precision with moistures above 35%. The procedure consists of mixing wet and dry parchment coffee in a 50:50 ratio, and obtaining a meter reading which is then converted to moisture content by the Jiménez and Bulgarelli (1992) conversion table. It was found that moisture was underestimated by an average of 8.14 percentage points, so this figure was used as a correction factor. After this, largest deviation from moisture values obtained with the ISO-1447 oven method was 2.7 percentage points, with a standard deviation of 0.79 (n=39). This precision is considered sufficient for monitoring purposes during the first part of wet parchment coffee drying, which usually ends at 35% moisture content. Besides being precise enough, the procedure is practical, since an estimated moisture value can be obtained in a few minutes.

1/ Recibido para publicación el 27 de marzo de 1998.

2/ Autor para correspondencia.

* Este artículo contiene los resultados de un proyecto de investigación realizado por los autores en el CIGRAS y una sección de la Tesis de Ing. Agr. presentada por

el primer autor a la Escuela de Ingeniería Agrícola, Facultad de Ingeniería, Universidad de Costa Rica.

** Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica.

INTRODUCCION

Para determinar el contenido de agua (humedad) en los granos, existen métodos directos e indirectos. Un método directo muy utilizado es el horno, del cual hay una versión para casi cada tipo de grano; en todos éstos, se hace pasar aire caliente alrededor de las muestras húmedas, cuyo peso de agua evaporada se calcula por diferencia de peso. Por su parte, los métodos indirectos utilizan dispositivos electrónicos que miden alguna propiedad física que se vea afectada por la humedad del producto en cuestión; la humedad del producto se obtiene de tablas que convierten las lecturas de estos aparatos en contenidos de humedad.

La validez de los valores generados por ambos métodos es diferente: los directos son más precisos y exactos, en comparación con los indirectos, que se consideran más inexactos y menos precisos (Alizaga 1981). Si bien presentan este problema, los indirectos tienen la ventaja de que con ellos se obtiene, en minutos, información sobre la humedad de una muestra, por lo que su uso se ha generalizado mundialmente.

En Costa Rica no se conoce de algún método indirecto que permita la estimación rápida de la humedad del café pergamino con muy altos contenidos de agua, como es el caso de este producto cuando finaliza el beneficiado en húmedo (sistema utilizado en todos los beneficios del país) e inicia la primera etapa de secamiento. Se cuenta con medidores de humedad indirectos de varias marcas, pero todos tienen la limitante de no poseer tablas de conversión para café pergamino con altos contenidos de humedad (>35%).

En una prueba preliminar de este trabajo, se evaluó la metodología alternativa propuesta por Zeledón y Alizaga (1992), que se usa con éxito en arroz. En café, sin embargo, por su alto contenido de humedad, no resultó práctico pues requería de mucho tiempo para el presecado de las muestras y obtener estimaciones de la humedad inicial.

En un segundo intento se evaluó el Motomco 919, el cual, aunque se utiliza muy poco en los beneficios de café nacionales, cuenta con una tabla de conversión para café pergamino, del tipo producido en Costa Rica, con la cual se puede

estimar humedades hasta de un 35% máximo. Si bien con ese trabajo, realizado por Jiménez y Bulgarelli (1992), se amplió el ámbito de utilización del Motomco 919 en café pergamino, los contenidos de humedad entre 35 y 50% aún no pueden estimarse. Grano en estas condiciones es comúnmente procesado en Costa Rica en secadores verticales de flujo cruzado, en los que se prepara el grano (se lleva a 35% de humedad, aproximadamente) para la etapa final, en la cual uno de los secadores empleados es del tipo Guardiola (Caldas 1992).

La eficiencia y el tiempo total de secado en Guardiola pueden verse afectados si las partidas de grano con que se llena su contenedor presentan humedades mayores o menores que la deseada, afectando el manejo integral del movimiento del producto dentro de la planta de proceso. Esta situación y otras similares que atentan contra la eficiencia del proceso pueden presentarse con frecuencia, principalmente por el hecho de que no se dispone de metodologías o de dispositivos que permitan monitorear el secamiento del café pergamino durante la primera etapa del secado, que lleva el grano de 50% o más a 35-40%, aproximadamente.

Los encargados de controlar estos procesos dependen, entonces, de su experiencia y estiman el contenido de humedad del café con base en la apariencia y otras características del grano, como sonido y color, todas valoraciones subjetivas sujetas a errores.

Dado que sería de utilidad para la industria cafetalera nacional contar con un método que permita estimar rápidamente la humedad del café pergamino con más de 35% de humedad, se investigó una forma simple de solucionar esto, como es el mezclar café pergamino seco y café pergamino húmedo y estimar la humedad de la mezcla con la tabla elaborada por Jiménez y Bulgarelli (1992).

El principal objetivo de esta investigación fue, por lo tanto, evaluar la metodología propuesta con el medidor Motomco 919 y determinar las correcciones necesarias para obtener lecturas de humedad en el rango entre 35 y 50% (b.h.) con exactitud y precisión aceptables para las labores de secado de café pergamino.

MATERIALES Y METODOS

La investigación se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) de la Facultad de Agronomía, Universidad de Costa Rica.

Se utilizó café en pergamino de la variedad Caturra, el cual fue proporcionado por el Beneficio Coopelibertad R.L. situado en San Luis de Santo Domingo, provincia de Heredia. El pergamino húmedo (50% o más de humedad) fue recolectado al finalizar la fase húmeda del beneficiado, exactamente después del escurrido. El pergamino seco (11% de humedad) fue recolectado después de terminar la etapa de secado en Guardiola.

El ensayo consistió en preparar muestras de café pergamino con diferentes contenidos de humedad en el ámbito entre 50% y 35%. Estas muestras fueron luego mezcladas con un peso igual de café pergamino seco y la humedad de la mezcla fue entonces estimada con el medidor de humedad electrónico. Los datos obtenidos fueron utilizados para calcular la corrección necesaria para estimar la humedad del pergamino húmedo, con una exactitud aceptable para las labores de monitoreo del proceso de secado del café desde 50% hasta 35% de humedad.

Preparación de mezclas de café húmedo y seco

Antes de su utilización en las pruebas, los lotes de pergamino húmedo y seco fueron sometidos a un proceso de limpieza manual para remover las impurezas presentes (hojas, pulpa, pergamino desprendido, etc.).

Para determinar el contenido de humedad exacto de estos lotes y de las muestras de café húmedo, preparadas según se indica en el próximo párrafo, se utilizó el método "ISO-1447" (International Standardization Organization 1978) que requiere un horno de convección forzada, el cual se usó con la modificación sugerida por Jiménez y Bulgarelli (1992); esto es, que se utilice sólo el primer período de secado ($130 \pm 2^\circ\text{C}/6 \text{ h} \pm 15 \text{ min}$) y que a los datos de humedad se les sume una corrección empírica de 0.2.

Seguidamente, el lote de pergamino húmedo se secó lentamente. Para ello, se utilizó una secadora de laboratorio estacionaria, descrita en detalle por Carmona y Chaves (1984). La temperatura promedio del aire caliente entregado por la secadora fue de 53.4°C . Para obtener café pergamino con diferentes niveles de humedad, a intervalos regulares se retiraron muestras de 1 kg de la cámara de secado. Luego, submuestras de 75 g de pergamino húmedo fueron mezcladas con submuestras de igual peso del lote de café pergamino seco utilizado en las pruebas; la mezcla se introdujo en el medidor de humedad Motomco 919 y su humedad se estimó con la tabla de calibración elaborada por Jiménez y Bulgarelli (1992). Esta tabla se utilizó tanto para estimar la humedad del café seco (aproximadamente 11%), como para estimar la humedad de las mezclas.

Como la secadora de laboratorio acepta únicamente 10 kg, hubo necesidad de secar 7 partidas; en total se pudieron analizar 39 muestras de 1 kg cada una.

Ecuación de cálculo

Con los valores de humedad obtenidos con el Motomco 919, haciendo uso de la tabla de Jiménez y Bulgarelli (1992) y la ecuación derivada en los siguientes párrafos, se obtuvieron los mejores estimados del contenido de humedad de las muestras de café pergamino con humedades entre 35 y 50%.

Si se combinan partes iguales de café seco y café húmedo, ambas humedades expresadas en % b.h., la humedad de la mezcla deberá ser:

$$Hm = \frac{X}{2} + \frac{Hps}{2} \quad (1)$$

donde:

- Hm = humedad del café detectada por el Motomco 919
- X = humedad del café pergamino húmedo
- Hps = humedad del café pergamino seco

Despejando se obtendría el dato de humedad del café húmedo:

$$X = 2Hm - Hps \quad (2)$$

Sin embargo, en pruebas preliminares se determinó que la mezcla afectaba el funcionamiento del medidor de humedad, puesto que éste subestimaba la humedad de la mezcla y por ende la del café húmedo calculada mediante la ecuación anterior. Esto se estableció comparando X con la humedad determinada por el método del horno antes citado. De aquí que se procedió a determinar la diferencia o factor de corrección (D). De esta forma, la humedad corregida (X_c) del café húmedo sería:

$$X_c = X + D \quad (3)$$

Y finalmente:

$$X_c = 2Hm - Hps + D \quad (4)$$

Seguidamente se calculó la desviación estándar de los valores X_c con respecto al valor correspondiente obtenido con el método del horno y la distribución de los errores en el ámbito estudiado (de 35 a 50% de humedad).

RESULTADOS Y DISCUSION

Se comprobó que el medidor Motomco 919 indicó humedades menores que las reales para mezclas de café húmedo y seco; luego de analizar los datos generados, se determinó que la diferencia entre la humedad del pergamino húmedo determinada al horno y la estimada con la ecuación (2), era en promedio de 8.14. Este valor promedio se utilizó como factor de corrección único (D) de las ecuaciones (3) y (4). La diferencia (D) presentó valores no muy diferentes del promedio, cuando se analizó la información en los ámbitos indicados en el Cuadro 1; por eso, se decidió utilizar un solo valor para D. Según Brooker et al. (1974) y Christensen (1974), las mezclas de grano húmedo y seco afectan las lecturas de los medidores de capacitancia y conductancia, lo cual fue corroborado en este trabajo.

Con el uso de $D=8.14$ se obtuvo que el error promedio en el ámbito total de humedades

estudiado fue de 1.02 (Cuadro 1). Esta inexactitud puede considerarse aceptable para los propósitos de esta técnica, a saber, el seguimiento y control del proceso de secado del café pergamino húmedo (desde 50% hasta 35% de humedad). En la actualidad, esta labor de monitoreo la basan los operarios en su experiencia acerca de los cambios de aspecto, color y otras características que sufre el café húmedo conforme progresa el secamiento. La técnica evaluada ofrece la ventaja de que permite una medición objetiva, rápida y de exactitud aceptable, sin los inconvenientes de las valoraciones subjetivas.

Cuadro 1. Error promedio cometido al utilizar la humedad corregida (X_c) para estimar la humedad determinada por el método del horno para café pergamino húmedo.

Ambito humedades (% b.h.)	Diferencia promedio (D)	Error promedio	Desviación Estándar
35-50	8.14	1.02	0.78
35-40	8.80	1.54	0.84
40-45	8.45	0.68	0.72
45-50	7.49	1.04	0.66

Para las subdivisiones del ámbito de humedad estudiado, a saber, 35-40, 40-45 y 45-50%, el mayor error se obtuvo entre 35-40% y disminuyó con el incremento del nivel de humedad del café húmedo utilizado en la mezcla (Cuadro 1). Este comportamiento es importante, ya que medidores que utilizan principios similares al Motomco, como por ejemplo el Steinlite, se consideran bastante imprecisos e inexactos en valores extremos de humedad, especialmente en café pergamino saliendo de la fase de beneficiado húmedo (Mata 1990).

En el presente trabajo, en el ámbito de humedades estudiado (de 35 a 50%) se comprobó que el efecto de la mezcla de grano seco con grano húmedo puede considerarse constante, por lo tanto se pudo trabajar con un factor de corrección único. Con humedades mayores de 50% (Cuadro 2), se pudo comprobar que el valor $D=8.14$ no es aplicable fuera del ámbito para el que fue calculado, pues se presentó una tendencia creciente en

OROZCO y ZELEDON: Estimación de alta humedad en café pergamino

Cuadro 2. Diferencias crecientes cuando se estimó la humedad de muestras de café pergamino con más de 50% de humedad, por dos métodos.

Humedad horno (% b.h.)	Humedad según el método evaluado (Xc)	Error (Xc-Horno)
52.61	50.06	-2.55
56.40	59.77	3.37
59.70	64.27	4.57
62.80	78.40	15.60
66.90	90.10	23.20

los errores. Hasta aproximadamente 60% los errores aumentaron relativamente poco, pero a partir de esta humedad los errores crecieron abruptamente. Por lo anterior, se sugiere el uso de la metodología evaluada preferiblemente con granos con menos de 50%. Si se la utiliza con grano entre 50 y 60% de humedad, se debe tener presente la tendencia a sobreestimar las humedades, según se deriva del Cuadro 2.

La Figura 1 ilustra la distribución de los errores al estimar la humedad del café húmedo (X_c) en el ámbito entre 35 y 50%. El error máximo fue de 2.7 puntos porcentuales, lo que sugiere que aún en el peor de los casos la técnica proporcionaría datos útiles para el monitoreo del secado de café con altos contenidos de humedad.

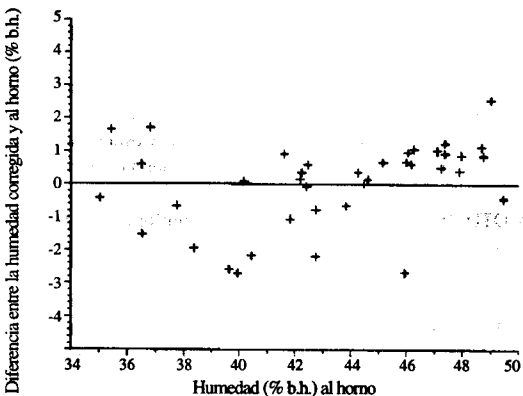


Fig. 1. Distribución de los errores cometidos al estimar la humedad del café pergamino húmedo con el método evaluado.

La ecuación propuesta (4) es fácil de utilizar a nivel de beneficiado, pues requiere únicamente que el encargado realice 2 operaciones aritméticas sencillas.

Para otros usos, y en especial cuando se requiera una mayor precisión o una automatización del sistema, se recomienda usar la siguiente ecuación:

$$X_c = (34.1352 - 0.1153 (LMm) + 0.0192 (LMm)^2) - Hps \quad (5)$$

donde:

LMm = lectura del Motomco 919 para una mezcla 50:50 en peso de café pergamino seco y café pergamino húmedo.

En la ecuación anterior se ha incorporado el factor de corrección promedio obtenido en este estudio y la ecuación generada por Jiménez y Bulgarelli (1992).

Se recomienda que el valor del factor de corrección sea corroborado en cada localidad donde se vayan a utilizar las fórmulas (4) y (5). Lo anterior, por cuanto es posible que el factor de corrección sea afectado por la variedad de café, por la localidad o por algún otro factor.

Para comprobar la utilidad del método evaluado, se realizó una prueba adicional con un lote de café producido en otra región del país; los resultados de 12 muestras se presentan en el Cuadro 3. Se confirmó que en el ámbito de humedades 35-50%, el promedio de las diferencias estuvo entre lo esperado (promedio 1.75 y desviación estándar 1.70). También, se observó nuevamente que la diferencia entre X_c y el horno tendió a crecer conforme aumentó la humedad del café por encima de 50%.

Finalmente, se considera que la técnica de mezclar granos secos y húmedos podría fácilmente adaptarse a otros granos y otros medidores de humedad. Evidentemente, tendría que determinarse en cada caso si se requiere o no de factor de corrección y calcularlo si fuese necesario; también se tendría que determinar si la proporción más adecuada es 50:50 o alguna otra.

Cuadro 3. Verificación de método propuesto con una muestra de café pergamino de otra zona de producción del país.

Muestra	Lectura Motomco	Humedad horno (% b.h.)	Humedad mezcla (Xc)	Diferencia (Xc-horno)
1	32	40.17	40.25	0.08
2	38	46.85	47.61	0.76
3	35	44.84	43.77	-1.07
4	34	40.65	42.55	1.90
5	35	41.77	43.77	2.00
6	28	33.79	36.11	2.32
7	30	35.74	38.09	2.35
8	27	32.69	35.17	2.48
9	43	49.88	54.81	4.93
10	47	54.65	61.27	6.62
11	46	52.67	59.59	6.92
12	49	54.88	64.71	9.83

Humedad al horno del grano seco: 9.85% b.h.

CONCLUSIONES

El factor de corrección para el ámbito de humedades entre 35 y 50% b.h. fue de 8.14; el error promedio de 1.02 y la desviación estándar de 0.79 para $n=39$, son considerados aceptables para el monitoreo de la primera etapa del proceso de secado del café húmedo. En una prueba adicional con un lote de café de distinta procedencia, se confirmaron los resultados anteriores.

Con la técnica estudiada se puede obtener, en pocos minutos, información confiable sobre la humedad del café pergamino al finalizar el beneficiado por vía húmeda y durante la primera etapa del secado.

LITERATURA CITADA

- ALIZAGA, R. 1981. Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador Motomco 919. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía, Escuela de Fitotecnia. 42 p.
- BROOKER, D.B.; BAKKER-ARKEMA, F.W.; HALL, C.W. 1974. Drying cereal grains. Westport, Connecticut, AVI Publishing Company Inc. 265 p.
- CALDAS, F. 1992. Evaluación del secado de café en Costa Rica. Santa Bárbara, Costa Rica, Instituto del Café, Centro de Investigaciones en Café. 79 p.
- CARMONA, V.; CHAVES, J. 1984. Sistema de secado de granos a nivel de laboratorio. Práctica Dirigida. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Agrícola. 165 p.
- CLEVES, R. 1995. Silo de acero para secar y almacenar café. In Tecnología en Beneficiado de Café. Ed. por R. Chéves. San José, Costa Rica, Impresora Tica. p. 110-117.
- CHRISTENSEN, C.M. 1974. Storage of cereal grains and their products. 2 ed. St. Paul, Minn., American Association of Cereal Chemists. 549 p.
- INTERNATIONAL STANDARDS ORGANIZATION (ISO). 1978. Green coffee: Determination of moisture content (Routine method). Switzerland.
- JIMENEZ, R.; BULGARELLI, J. 1992. Determinación del contenido de humedad en granos de café (*Coffea arabica*) con los medidores Motomco 919 y Tecator P25. Agronomía Costarricense 16(2): 212-218.
- MATA, G. 1990. Modelos de calibración para equipos de medición del contenido de humedad en café (*Coffea arabica*). Tesis. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Agrícola. 85 p.
- MOTOMCO MODEL 919 Moisture meter: operating instructions 1977. Motomco Inc. Electronics Division. Paterson, New Jersey. 15 p.
- ZELEDON, M. E.; ALIZAGA, R. 1992. Procedimiento alternativo para la estimación de la humedad del arroz con el medidor Motomco 919. Agronomía Costarricense 16(2): 249-255.