

CALIBRACION DE EQUIPOS PARA MEDICION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFE (*Coffea arabica*)¹

Ronald Jiménez *
Gustavo Mata **

ABSTRACT

Calibration of moisture meters for coffee beans (*Coffea arabica*). The efficiency of two electrical moisture meters, Steinlite and Dole 400, was evaluated in patchment and green coffee beans. Correspondent calibration using an air convection oven as a reference method was done. Significant differences in moisture content measurements were detected between the two coffee moisture meters and the standard method. The moisture contents used in this work ranged between 5 and 50% wet basis for patchment coffee, and 5 to 19% for green coffee. When using the Steinlite meter with patchment coffee, the values found were 2.3 and 2.7% higher than the standard method, for low and high moisture samples respectively. With Dole 400 meter differences were 6.2% lower than the standard method when intermediate moisture contents were used (16 to 38%). For lower and higher moisture content levels, the meter registered lower values than the reference method. For green coffee, the values of moisture content obtained with the standard method were always higher than those obtained with the Steinlite, with differences ranging from 0.5 to 1.4%. Dole 400 meter showed a great variability at different moisture levels; between 8% and 14%, higher values were obtained with the oven method, while the opposite situation occurred with moisture levels between 14 and 18%. In order to improve the accuracy of the moisture content determination made with the electric meters, four regression equations to elaborate conversion moisture content tables, that relate the reference method with the coffee moisture meters, were done. The equations are: Patchment coffee, Steinlite $Y=9.943801-0.06685x+0.004167x^2-0.000015x^3$; Dole 400 $Y=8.201427+0.131267x+0.016841x^2$ and Green coffee, Steinlite $Y=7.21954+0.0820157x$; Dole 400 $Y=0.085487+1.305605x-0.022291x^2$.

INTRODUCCION

La producción de café en Costa Rica ha alcanzado un alto desarrollo tecnológico en el

aspecto agronómico. Los rendimientos han venido en aumento en las últimas décadas, pasando de 2,4 t/ha en 1950 hasta 8,4 t/ha en el período de 1983 (Andrade, 1985).

El avance obtenido en la producción supera en alguna medida el progreso logrado en el proceso de beneficiado, en donde se pierde un porcentaje importante de la cosecha. En esta etapa, muchos factores afectan la cantidad y calidad del producto.

Uno de los procesos más importantes en el beneficiado es el secamiento, en el cual, frecuentemente, debido a un manejo inadecuado de los equipos, se reduce el valor del producto final por

1/ Recibido para publicación el 24 de octubre de 1990.
* Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS) y Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. Miembro del programa financiero de apoyo a Investigadores Científicos del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Tecnológicas (CONICIT) de Costa Rica.

** Escuela de Ingeniería Agrícola, Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica.

pérdidas de peso y de calidad. En la fase de secado, un aspecto fundamental al que no se le ha dado la importancia debida, es la medición del contenido de humedad.

Entre los problemas más serios que se presentan cuando se hace una determinación equivocada del contenido de humedad, Alizaga (1981) menciona los siguientes: otorgar a un lote de grano un valor equivocado, problemas en el control de inventario, secamiento excesivo y secamiento incompleto.

En la mayoría de los beneficios de café en Costa Rica se cuenta con aparatos eléctricos para la determinación del contenido de humedad del grano. Si bien esos medidores son de fácil manejo y rápidamente dan valores del contenido de humedad, los resultados obtenidos con ellos son frecuentemente inexactos, dado que sus tablas de conversión o sus escalas de lectura directa están hechas para condiciones de grano particulares de una determinada región, que no necesariamente son similares a las del país. Esta situación afecta en gran medida la toma de decisiones claves durante el beneficiado, las cuales pueden tener consecuencias serias en el valor económico del producto. Tal podría ser el caso de escoger erróneamente el momento de conclusión del proceso de secamiento.

Cabe destacar que ambos medidores se basan en el principio de la capacitancia, que es una propiedad eléctrica que tienen todos los cuerpos, incluyendo los granos, por esto se catalogan como medidores de humedad indirectos, ya que la capacitancia varía con el contenido de humedad del producto (Christensen, 1974).

Las consideraciones anteriores sirvieron como punto de partida para esta investigación, que tuvo como objetivo evaluar las tablas de conversión y las escalas de medición de los determinadores eléctricos de humedad Steinlite y Dole 400, comúnmente usados en los beneficios de café del país y desarrollar modelos de calibración para corregir los valores de humedad obtenidos con esos medidores.

MATERIALES Y METODOS

Para hacer la evaluación de los medidores se utilizó café de altura, obtenido en la Cooperativa de Productores de Café de Cartago (COOPECARTAGO R.L.), que en gran parte se

destina a la exportación. Se seleccionó este café debido a que la determinación del contenido de humedad es de vital importancia, para ofrecer un producto de alta calidad, competitivo en el mercado internacional.

Muestreo de campo

Se recolectaron muestras de café pergamino de 2 kg de peso durante el proceso de secado en tres secadoras rotativas tipo Guardiola, a intervalos de una hora. De cada secadora se tomaron 18 muestras. Las muestras abarcaron todos los niveles de humedad usuales en el proceso de secamiento; desde que el café entra húmedo a la secadora (aproximadamente a 50% base húmeda), hasta que está "a punto", es decir, a un contenido de humedad cercano al 11 ó 12%, que es el óptimo para el almacenamiento del café pergamino y para el posterior procesamiento y comercialización del café oro.

Para lograr muestras representativas se extrajo simultáneamente y al azar café de cada uno de los 4 compartimientos de la secadora, hasta completar los 2 kg requeridos.

Al final del proceso de recolección y para mantener las características del grano (humedad y calidad), las muestras se almacenaron bajo condiciones herméticas en una cámara de refrigeración a $10 \pm 2^\circ\text{C}$.

Determinación del contenido de humedad en café pergamino

Este trabajo se realizó en los laboratorios del Centro para Investigaciones en Granos y Semillas (CIGRAS), de la Universidad de Costa Rica.

Previo a la determinación de la humedad, las muestras de grano almacenadas en las cámaras frías se expusieron durante un período prudencial a las condiciones ambientales con el propósito de que el agua condensada en las paredes de la bolsa de polietileno fuera absorbida de nuevo por el grano.

El procedimiento de referencia utilizado para comparar las determinaciones de humedad hechas con los medidores electrónicos, fue el método del horno de convección mecánica, establecido por la International Organization for Standardization (I.S.O.) No. 1447, para café verde (1978).

Para la determinación del contenido de humedad con los medidores Steinlite y Dole 400 en cada muestra y nivel de humedad se hicieron

10 observaciones, descartando las 4 que presentarían mayor variabilidad; de las 6 restantes se obtuvo el promedio de humedad correspondiente a cada nivel analizado.

Cabe mencionar que el Steinlite es un medidor de "lectura indirecta"; el valor que se mide en el aparato se convierte a contenido de humedad por medio de una tabla de conversión. Mientras que el Dole 400 es un medidor de "lectura directa", es decir, no es necesario el uso de tablas de conversión. La corrección por temperatura para el DOLE 400 es similar a la del Steinlite.

Debido a que los contenidos de humedad normales durante el secamiento van de 11% a 50%, se decidió ampliar el ámbito de humedades hasta un límite inferior de 5%, con el propósito de conocer el comportamiento de los medidores con contenidos de humedad bajos. Estas muestras se prepararon en el laboratorio utilizando una secadora de capa fina con un flujo de aire a 50°C.

Primero se analizaron las muestras con mayor contenido de humedad, ya que en éstas se desarrollan hongos después de 15 días de almacenamiento, aún bajo las condiciones de baja temperatura mencionadas anteriormente.

Determinación del contenido de humedad en café oro

Para obtener el café oro, a las muestras más secas de café pergamino usadas en el ensayo anterior, se les eliminó el endocarpio en una máquina despergaminadora.

El ámbito de contenidos de humedades analizado abarcó desde un nivel inferior a 5% hasta niveles superiores a 20%, según las determinaciones de humedad hechas con el método de referencia.

Se escogió el límite superior de 20% debido a que en pruebas de despergaminado hechas en la máquina peladora, se observó que los granos con humedades mayores son propensos a sufrir daños físicos, tales como aplastamiento, fisuras y en general pérdida de su forma original. Otra razón para escoger la humedad de 20% fue su utilidad práctica, ya que se procuró trabajar en los ámbitos de medición de humedad usuales en el beneficiado de café. Un criterio similar se utilizó para escoger el límite inferior de humedad, ya que en la práctica se ha encontrado que la humedad del café oro puede bajar hasta 5%.

La metodología de laboratorio usada en la determinación del contenido de humedad en las muestras de café oro, tanto con el método de

referencia como con los medidores electrónicos, fue similar a la empleada en café pergamino.

Para cada medidor se determinó una ecuación de regresión entre los porcentajes de humedad obtenidos con el método del horno y las lecturas del medidor; también se calculó el coeficiente de determinación (R^2). Todos los análisis estadísticos se hicieron con un nivel de significancia del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSION

Evaluación de la eficiencia de los medidores Steinlite y Dole 400

Cuando se analizaron las diferencias en contenido de humedad obtenidas con los medidores Steinlite y Dole 400, respecto al método del horno, tanto para café pergamino, como para café oro, fue posible concluir que para ambos tipos de café, los contenidos de humedad obtenidos con los medidores eléctricos presentan diferencias apreciables con respecto a los valores obtenidos con el método de referencia. Para efectos prácticos de medición del contenido de humedad del café en el proceso de beneficiado, así como en el control de inventarios y conservación de la calidad durante el almacenamiento y posterior mercado del producto, las diferencias encontradas fueron altamente significativas.

Café pergamino. Se observó que a bajos niveles de humedad (8,0% a 9,1%), el medidor Steinlite da valores menores que los obtenidos con el método de referencia, presentándose una diferencia del 2,3% cuando la humedad real (horno) fue de 8%.

A partir de 10% y hasta 23% aproximadamente, el medidor da lecturas más altas que el horno, con diferencias de hasta 2,7% para una humedad real de 16%. Entre 25% y 27% el medidor vuelve a dar valores inferiores a los del horno. De acuerdo con lo observado se deduce que la tabla de conversión de lecturas que se usa actualmente con el Steinlite, no ofrece resultados confiables en el ámbito de humedad estudiado, ya que prácticamente en ningún caso los resultados fueron similares a los del método de referencia.

Una situación parecida a la anterior se presenta con el medidor Dole 400 en café pergamino. Para contenidos de humedad entre 8,8% y 15,4%, el medidor proporciona valores inferiores a los obtenidos con el horno, situación que en el

beneficiado es crítica, ya que puede llevar a un secamiento incompleto del café. Para valores de humedad intermedios (16% a 38%), el Dole 400 ofrece lecturas mayores, con una diferencia máxima de 6,2% para un contenido de humedad real (horno) de 21,5%. Para humedades entre 40% y 45%, el medidor vuelve a dar valores inferiores a los del método de referencia.

Café oro. Los resultados obtenidos en café oro presentaron ciertas particularidades respecto a lo observado en café pergamino, sobre todo porque el ámbito de humedades de uso práctico es mucho menor, variando en la realidad entre 6% y 13% aproximadamente.

Para evaluar el medidor Steinlite con respecto al método del horno, se utilizó un ámbito de humedades que varió entre 8% y 19%, aunque para efectos prácticos, el contenido de humedad del café oro no debería ser mayor que 13%. Las diferencias observadas siempre fueron menores que cero, lo que implica que los valores obtenidos con el horno fueron en todos los casos mayores que los del medidor. Estas diferencias oscilaron entre 0,5% y 1,4%, lo cuál es muy importante al momento de comercializar el grano, ya que alguna de las partes podría resultar perjudicada por una valoración incorrecta del contenido de humedad.

La determinación del contenido de humedad con el medidor Dole mostró una gran variabilidad con respecto al método del horno, aún en ámbitos de humedad pequeños. Para humedades entre 8% y 14%, el horno dio lecturas mayores que el medidor, mientras que entre 14% y 18% el medidor presentó valores mayores que el horno. La máxima diferencia observada fue de 4% (valor extremadamente alto), para un contenido de humedad de 18%.

Las anteriores consideraciones sirvieron como base para establecer la necesidad de realizar tablas de conversión de humedad, basadas en los contenidos de humedad obtenidos con el método del horno.

Calibración de los medidores para café pergamino

Matemáticamente, es posible establecer ecuaciones que calibren las mediciones prácticas realizadas con los medidores Steinlite y Dole 400 con la humedad del grano medida al horno. Su aplicación permitirá estimados más exactos de la humedad real del grano.

Steinlite. La Figura 1 muestra la relación existente entre las lecturas dadas por el medidor

de humedad Steinlite y los contenidos de humedad obtenidos con el método de referencia (horno), así como la curva que mejor se ajusta a ésta relación, de acuerdo al análisis de regresión realizado. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 99,35%.

Las diferencias (o residuos) entre los valores estimados por la ecuación 1 para el medidor Steinlite y los valores observados, determinados con el método del horno se muestran en la Figura 2. Se aprecia una distribución homogénea de las diferencias alrededor de cero, en un ámbito de humedades entre 8% y 30%. La mayoría de los residuos observados se ubica entre -1,6% y +1,6% de humedad.

En términos porcentuales, el 88% del total de los residuos se encuentra dentro del ámbito de -1,6% a +1,6%. Únicamente el 12% restante del total de diferencias tiene valores absolutos mayores de 1,6%.

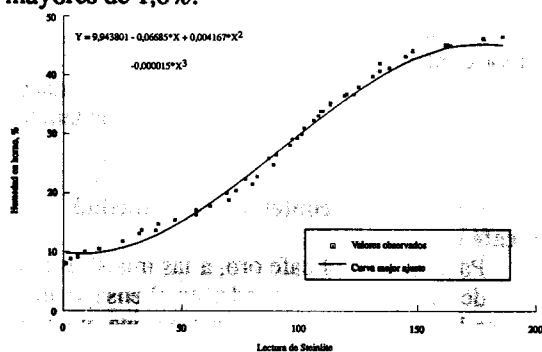


Figura 1. Curva de calibración para el medidor Steinlite (Café pergamino).

Fig. 1. Curva de calibración para el medidor Steinlite (Café pergamino).

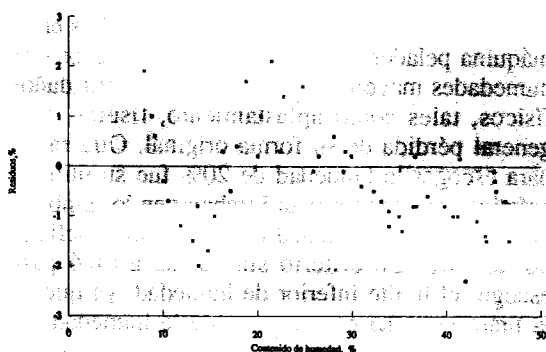


Fig. 2. Diferencias entre los valores de humedad estimados con la curva de regresión y los observados para el medidor Steinlite (Café pergamino).

Dole 400. La Figura 3 muestra la relación que existe entre las lecturas obtenidas con el medidor Dole 400 y los contenidos de humedad determinados con el método de referencia. La ecuación de regresión es un modelo de segundo orden con un $R^2=99,06\%$.

Las diferencias (o residuos) entre los valores estimados por esta ecuación, se observan en la Figura 4. Porcentualmente, el 68,1% de las diferencias oscila en el ámbito de -1% a $+1\%$. Sólo el 12,8% de estas diferencias tuvo valores absolutos mayores de 1,5%.

Este comportamiento de los residuos ratifica la confiabilidad de estas ecuaciones estimadas para los 2 determinadores de humedad.

Calibración de los medidores para café oro

Steinlite. En la Figura 5 se presenta la ecuación de regresión obtenida al asociar las lecturas de humedad del medidor Steinlite con los contenidos de humedad determinados al

usar el método de referencia para café oro. El coeficiente de determinación (R^2) fue de 99,53%.

Para el ámbito de contenidos de humedad estudiado, que oscila entre 8% y 23%, se aprecia una distribución homogénea de las diferencias (o residuos) entre los valores estimados y los observados (Figura 6) alrededor del cero. El total de las diferencias (100%) tienen valores que se encuentran dentro del ámbito de $-0,7$ a $+0,7$. Este comportamiento de los residuos, con valores absolutos tan pequeños, demuestra la gran precisión de la ecuación para estimar el contenido de humedad del café oro.

Dole 400. La Figura 7 muestra la curva que mejor expresa la relación existente entre las lecturas obtenidas con el medidor Dole 400 y los contenidos de humedad determinadas con el método de referencia, y en la Figura 8 se aprecian los residuos. La ecuación de regresión correspondiente resulta en un modelo de segundo orden, con un $R^2=99,57\%$.

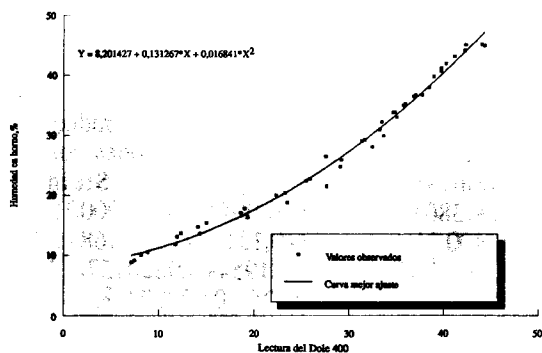


Fig. 3. Curva de calibración para el medidor Dole 400 (Café pergamino).

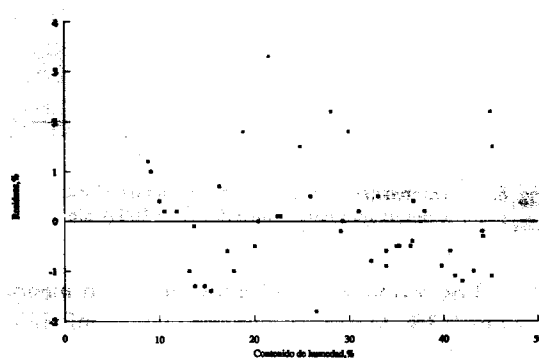


Fig. 4. Diferencia entre los valores estimados y observados para el medidor Dole 400 (Café pergamino).

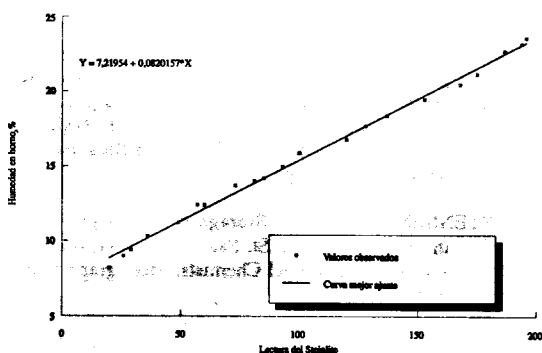


Fig. 5. Curva de calibración para el medidor Steinlite (Café oro).

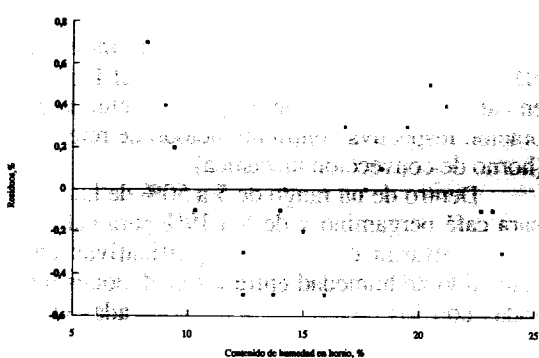


Fig. 6. Diferencias entre los valores de humedad estimados y los observados para el medidor Steinlite (Café oro).

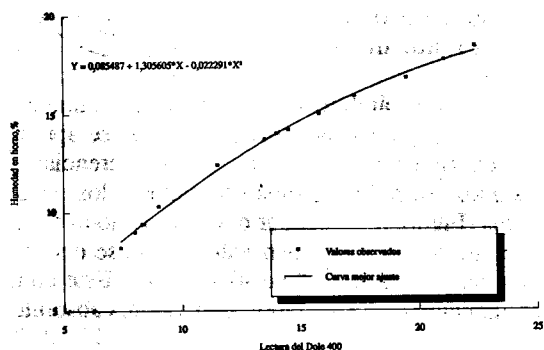


Fig. 7. Curva de calibración para el medidor Dole 400 (Café oro).

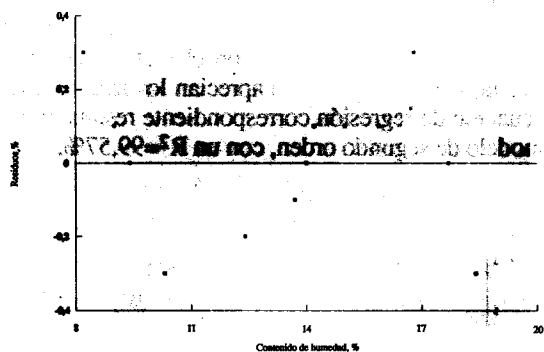


Fig. 8. Diferencias entre los valores de humedad estimados y observados para el medidor Dole 400 (Café oro).

Los residuos en todos los casos son menores que 0,3%, lo cual asegura una gran confiabilidad y precisión de la ecuación para estimar el contenido de humedad del café oro con el medidor Dole 400.

RESUMEN

Se evaluó la eficiencia de dos medidores eléctricos de humedad, el Steinlite y el Dole 400 en café pergamino y café oro, y se efectuó la calibración respectiva contra un método de referencia (horno de convección mecánica).

Dentro de un rango de 5 a 50% de humedad para café pergamino y de 5 a 19% para café oro, se encontraron diferencias significativas en el contenido de humedad entre las mediciones realizadas con los medidores y las realizadas con el método de referencia.

Para el medidor Steinlite en café pergamino, se encontraron diferencias hasta 2,3% mayores que

las del horno en ámbitos bajos (8,0% a 9,1), mientras que para contenidos de humedad altos (10% a 23%), los valores fueron hasta 2,7% mayores que los obtenidos con el horno.

El medidor Dole 400, en café pergamino, proporcionó valores inferiores hasta en un 6,2% respecto a los obtenidos con el horno cuando se evaluaron humedades intermedias (16% a 38%). Para los niveles de humedad bajos y altos también registró valores inferiores.

En café oro, los valores de humedad obtenidos con el método de referencia fueron siempre mayores que los registrados con el Steinlite, encontrándose diferencias que oscilaron entre 0,5% y 1,4%. Con el Dole 400, entre 8% y 14%, se obtuvieron valores mayores con el horno, mientras que entre 14% y 18%, los valores fueron menores hasta en un 4% para una humedad observada de 18%.

Para mejorar la precisión de las determinaciones de humedad realizadas con los medidores eléctricos, y utilizando café producido y procesado en el país, se estimaron 4 ecuaciones de regresión que permiten elaborar las respectivas tablas de conversión de humedad, para cada uno de los medidores en café pergamino y en café oro, basadas en los contenidos de humedad obtenidos con el método de referencia. Las ecuaciones son las siguientes: Café pergamino, Steinlite $Y = 9,943801 - 0,06685x + 0,004167x^2 - 0,000015x^3$; Dole 400 $Y = 8,201427 + 0,131267x + 0,016841x^8$ y Café oro, Steinlite $Y = 7,21954 + 0,0820157x$; Dole 400 $Y = 0,085487 + 1,305605x - 0,022291x^2$.

LITERATURA CITADA

- ALIZAGA L, R. 1981. Medición del contenido de humedad en granos básicos con el determinador MOTOMCO modelo 919. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 42 p.
- ANDRADE, M. A. 1985. Metodología para tipificar tecnologías de producción de fincas cafetaleras mediante las técnicas de análisis de componentes principales y clasificación automática jerárquica. Tesis Ing. Agr. San José, Universidad de Costa Rica, Facultad de Agronomía. 74p.
- CHRISTENSEN, C.M. 1974. Storage of cereal grains and their products. 2 ed. St. Paul, Minnesota, American Association of Cereal Chemists. Monograph Series. 549 p.
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. 1978. Green Coffee: Determination of moisture content. (Routine method). 4 p.