

MÉTODO PARA MEDIR EL CONTENIDO DE HUMEDAD DEL CAFÉ PERGAMINO EN EL SECADO SOLAR DEL CAFÉ

Jurieth Milena Jurado-Chaná*; Esther Cecilia Montoya-Restrepo**; Carlos Eugenio Oliveros-Tascón***; Javier García-Alzate****

RESUMEN

JURADO C., J.M.; MONTOYA R., E.C.; OLIVEROS T., C.E.; GARCÍA A., J. Método para medir el contenido de humedad del café pergamino en el secado solar del café. 60(2): 135-147. 2009.

Para determinar la humedad del grano de café en secado solar, Oliveros propuso un método directo, denominado Gravimet, basado en la relación en peso del café en los estados de lavado y seco. El método consiste en colocar en una canastilla plástica una muestra de 200 g de café sano y limpio, y registrar la evolución de su peso utilizando una balanza digital de bajo costo. Cuando el peso del café está entre 104 a 106 g su humedad deberá estar entre 10 y 12% (b.h.). Para determinar la precisión del método, se tuvo como referencia el método de determinación de la estufa según la norma NTC 2325, en 80 pruebas de secado, con contenidos de humedad entre 49% y 10% (b.h.). Los resultados indicaron que la precisión del método Gravimet varía entre 1,92% y 0,09% (b.h.); el método no sobrestima ni subestima la humedad, con respecto a la determinada por el método de la estufa. El peso que debe alcanzar la muestra en la canastilla, para garantizar una humedad entre el 10 y 12% (b.h.), debe estar entre 104 a 105 g y la resolución de la balanza debe ser de 1 g. Simultáneamente con la determinación de la precisión del método Gravimet, éste se evaluó con 20 caficultores, en cinco pruebas de secado, encontrando que en el 92% de los casos, el contenido de humedad estuvo entre el 10% y 12% (b.h.), con un peso de la canastilla de 105 g.

Palabras clave: Precisión, Método Gravimet, Método de la estufa.

ABSTRACT

In order to determine coffee grain moisture during solar drying, Oliveros proposed a direct method called Gravimet based on the weight ratio of coffee in the wash and dry states. The method consists of placing a sample of 200g of clean and healthy coffee in a basket, and recording its weight evolution using a low-cost digital scale. When the coffee weight oscillates between 104 to 105g, its moisture must be between 10 and 12 % (b.h.). To determine the method precision, the standard stove method (ISO 6673) was taken as a reference in 80 drying tests with moisture content between 49 % and 10 % (b.h.). The results indicated that the precision of the Gravimet method varies between 1,92% and 0,09% (b.h.); the method neither overestimates nor underestimates the moisture content compared to the values determined by the stove. The weight that the sample in the basket must reach to guarantee moisture between 10% and 12% (b.h.) must be between 104 and 105 g and the scale resolution must be 1g. Simultaneous to determining the precision of the Gravimet method, it was also evaluated with 20 coffee growers in five drying tests. In 92 % of the cases the moisture content was between 10 and 12 % (b.h.), with a coffee weight in the basket of 105g.

Keywords: precision, Gravimet method, stove method.

* Estudiante Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño.

** Investigador Científico III. Biometría. Centro Nacional de Investigaciones del Café, Cenicafé. Chinchiná, Caldas, Colombia.

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

**** Profesor. Facultad Ciencias Agrícolas. Universidad de Nariño. Nariño, Colombia.

El secado es el proceso más utilizado para conservar los granos, por su viabilidad técnica y económica (12, 10). En este proceso se elimina parte del agua del producto hasta niveles que permitan disminuir la actividad del agua, para reducir el crecimiento de hongos y bacterias, y permitir su almacenamiento por largos períodos, conservando la calidad física y organoléptica y la inocuidad (10).

Una vez lavado, el grano de café tiene un contenido de humedad cercano al 53% (b.h.), el cual se reduce por medio del secado al rango del 10% al 12% (b.h.), para permitir su conservación en etapas posteriores, como almacenamiento y transporte (11).

De acuerdo con Brooker *et al.* (2), el secado ocurre cuando la presión de vapor del agua del grano es mayor que la presión de vapor del agua del aire que lo rodea, y se da el proceso contrario, rehumedecimiento del producto, cuando la presión de vapor del aire es mayor que la del grano. Cuando las presiones son iguales no ocurre secado ni se presenta absorción de humedad (condición de equilibrio). Durante el secado, ocurren dos fenómenos simultáneos: transferencia de calor del aire a los granos para suministrar la energía requerida para evaporar el agua y transferencia de masa (humedad) de los granos al aire (2).

Según Aristizábal y Duque (1), el 94% de los caficultores colombianos utilizan el secado solar, en capas entre 2 y 3 cm de altura, dispuestas sobre pisos de concreto, pisos construidos en madera, malla metálica o malla plástica. Oliveros *et al.* (9) reportan que en las fincas colombianas, generalmente con producción anual menor a 2.500 kg de café pergamino seco, se utiliza el secado solar con tecnologías como bandejas o paseras, bandejas móviles (carros secadores), secadores de techo pivotados (conocidos comúnmente como heldas), pisos, secadores parabólicos o secadores tipo túnel.

En el proceso de secado del café es necesario determinar cuándo está en el rango establecido para su comercialización, que en Colombia es del 10% al 12% en base húmeda (b.h.), para retirarlo y evitar el resecamiento, que se traduce en pérdidas de calidad y de peso, con menores ingresos para el productor. Según Roa *et al.* (12), el caficultor colombiano emplea métodos subjetivos para determinar si el café está en el rango del 10% al 12% (b.h.), es así como en el secado solar toma muestras en varias partes del secador, luego las trilla y mediante observación del color de las almendras de café y la dureza, decide si el café está listo para retirarlo del secador.

De acuerdo con un estudio de la Federación Nacional de Cafeteros de Colombia en 1984, citado por Roa *et al.* (12), con la aplicación de los métodos mencionados anteriormente en 623 muestras de café pergamino, obtenidas en igual número de fincas, se observó que el 25% tenían menos del 10% (b.h.) de humedad y el 13% más del 12% (b.h.), es decir, el 38% de ellas no presentaba el contenido de humedad final exigido en la comercialización.

Para medir el contenido de humedad de los granos se utilizan métodos directos, entre los cuales se destacan el método de la estufa, destilación, radiación infrarroja y microondas (6). También se emplean métodos indirectos, basados en algunas características de los materiales que son afectadas por su contenido de humedad, como la resistencia eléctrica, capacitancia, humedad relativa y resonancia de microondas (13).

La mayoría de las tecnologías que se ofrecen actualmente están basadas en la constante dieléctrica del grano. Para su empleo, se requiere que en el interior de los granos no se presenten gradientes de humedad, lo cual se logra cuando se dejan

en reposo por un tiempo mayor a cuatro horas. Estos equipos generalmente tienen un costo superior a US\$ 1.000.

También se ofrecen tecnologías basadas en el método de Brown-Duvel (3), que no son afectadas por gradientes de humedad en el interior de los granos, pero no son viables para pequeños productores de café por el costo, por el tiempo requerido para la medición de humedad (más de 20 minutos) y por ser métodos con los que se destruye la muestra.

Con el propósito de ofrecer una alternativa para medir la humedad del café, durante el secado en equipos solares, Oliveros (7, 8) desarrolló un método sencillo y económico, denominado Gravimet, basado en la conservación de la materia seca durante el secado, utilizando una muestra de café sano (sin presencia de flotes, granos muy brocados, granos con pulpa adherida, frutos secos y pulpa) y escurrido durante una hora, con el fin de lograr que su contenido de humedad inicial sea del 53% (b.h.), evitando el efecto de otros materiales como pulpa, granos con pulpa adherida, frutos sin despulpar y vanos o flotes, que presentan contenido de humedad diferente al 53% (b.h.) y que están presentes en el café lavado en proporciones variables, según la calidad del café cereza procesado, la tecnología utilizada en el beneficio y el trabajo del operario. La muestra de 200 g se deposita en una canastilla de 12 x 12 x 5 cm, construida en malla plástica, la cual se coloca sobre el piso del secador, en medio del lote de café a secar. Diariamente se pesa el café utilizando una balanza digital de bajo costo (< US\$ 20) con resolución de 1 g. Cuando el peso de la muestra alcanza de 104 a 105 g, la humedad del café está en el rango del 10 al 12% (b.h.). Utilizando este método, en 30 ensayos realizados en el 2006 se obtuvo café en el rango de humedad

establecido en el 100% de las pruebas, con humedad media de 11,3% (b.h.) (7).

Esta investigación se adelantó con el propósito de determinar la precisión del método Gravimet en el rango de humedad del café desde 53% al 10% (b.h.) y validarlo en fincas de caficultores, siguiendo las recomendaciones de Oliveros para su empleo (7, 8). Como el método consta de un procedimiento, en el cual se utiliza una balanza (instrumento), se hablará en términos de precisión y no de exactitud, ya que ésta en Ingeniería se refiere a los equipos de medición como tal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La primera etapa de esta investigación se desarrolló en el Centro Nacional de Investigaciones de Café, Cenicafé, situado en el municipio de Chinchiná (Caldas). La segunda etapa se realizó en 20 fincas de caficultores del departamento de Caldas, que emplean secadores solares.

Para determinar la precisión del método Gravimet en el rango de humedad propuesto se utilizó un secador de laboratorio, con aire forzado, equipado con cinco bandejas, con un promedio de temperatura de aire de secado de 50°C y flujo vertical ascendente. Se trabajó con tiempos de secado 2 h, 4 h, 6 h, 8 h, 10 h, 12 h, 13 h, 13,5 h, 14 h, 14,5 h, 15 h, 15,5 h, 16 h, 16,5 h y 17 h, con el fin de abarcar el mayor número posible de niveles de humedad dentro del proceso de secado, desde el inicio hasta cuando alcanza contenidos de humedad cercanos al 10% ó 12% (b.h.).

En cada tiempo de secado y en cada bandeja (unidad de muestreo), se depositaron 5 kg de café pergamino lavado, en una capa de 2 cm de espesor. Del café depositado

en cada bandeja, se tomó una muestra de 200 g de café lavado, éste se depositó en una canastilla, en una capa con una altura máxima de 2 cm, y se colocó en el centro de la bandeja (Figura 1). Una vez transcurrido el tiempo de secado establecido, se retiraron las bandejas con las canastillas. El café contenido en cada canastilla retirada, se pesó y se obtuvo la humedad en base húmeda (**valor observado**), utilizando la siguiente expresión (Ecuación <<1>>):

$$Chf = \left[1 - \frac{Pi(1-Chi)}{Pf} \right] 100 \quad \ll 1 \gg$$

Donde:

Pi: masa inicial del café, g

Chi: Contenido inicial de humedad, %, b.h. (53% constante)

Pf: masa final, g

Chf: contenido final de humedad estimada, %, b.h. con el método Gravimet

De acuerdo con Oliveros (7) el contenido de humedad del café lavado (variedad Colombia), escurrido durante 30 minutos, es 53% (b.h.).

Del café de cada bandeja retirada, también se tomaron seis muestras de 10 g cada una, para determinar su contenido de humedad, utilizando el método estándar de la estufa (4). A partir de estos valores se estimó el promedio para cada bandeja, el cual se tomó como el **valor real** de la humedad del grano. Por cada tiempo de secado se tuvieron 30 unidades de muestreo (bandejas). De todas las unidades de muestreo, en 30 de ellas se determinó la humedad inicial (tiempo cero), para definir si ésta es igual a la obtenida por el método Gravimet (en 200 g de café escurrido), a través del estadístico de prueba t, al 5%.

Con la información obtenida con los métodos de la estufa y Gravimet se hizo el siguiente análisis estadístico:

- Para cada bandeja (unidad de muestreo) y tiempo de secado, se estimó el promedio de la humedad del grano y su intervalo, con un nivel de confianza del 95%, con el método Gravimet a través de la Ecuación <<1>>, y con el método de la estufa según la norma (NTC 2325).

- Para cada tiempo de secado, se estimó el promedio de humedad del grano, el error estándar y el intervalo para el promedio, con un coeficiente de confianza del 95% y una comparación de los promedios de humedad por estufa y Gravimet, con el estadístico de prueba t, al 5%.

- Regresión lineal simple entre la humedad media de la estufa (variable dependiente) y la humedad media del método Gravimet (variable independiente), para establecer, a través del coeficiente de regresión y la prueba t, al 1%, si el método Gravimet, no sobrestima o subestima, la humedad determinada por la estufa.



Figura 1. Ubicación de la canastilla en la bandeja 1, del secador mecánico.

- Para cada tiempo de secado se determinó la diferencia absoluta entre el valor observado (Gravimet) y el valor real (estufa). Esta diferencia se denomina error de estimación absoluto del método Gravimet, el cual corresponde a la precisión del método, variable de interés de esta investigación. Adicionalmente, se estimó el promedio para la variable de interés y su error estándar, en cada tiempo de secado.
- Regresión lineal simple, teniendo como variable dependiente la diferencia absoluta (error absoluto del método Gravimet) y como variable independiente el tiempo de secado, para evaluar si la precisión del método Gravimet depende de la humedad del grano, a través del coeficiente de regresión y el estadístico de prueba t, al 1%.
- Con aquellas unidades de muestreo que según el método de la estufa, el límite inferior y superior para el promedio (11% b.h. aproximadamente), fuese mayor o igual al 10% (b.h.) o menor o igual al 12% (b.h.), respectivamente, se determinó la masa final que debe tener la muestra depositada en canastilla del método Gravimet, para que la humedad del grano esté en dicho intervalo.

Simultáneamente con la determinación de la precisión, se evaluó el método Gravimet con 20 caficultores que utilizan el secador solar y métodos subjetivos para estimar la humedad del café, en cinco lotes de secado, desde el inicio hasta la finalización del secado de la siguiente manera:

Al momento de disponer la masa de café en el secador solar, se tomó una muestra de 200 g de café sano, sin granos brocados, ni atacados por mancha de hierro, sin frutos secos, pulpa u otras impurezas. La muestra se depositó en la canastilla, se esparció y se dispuso en el secador sobre la malla (Figura 2). Cada vez que el lote de café

se revolvió con el rastrillo, también se revolvió manualmente el café contenido en la canastilla.

Diariamente se pesó el café contenido en la canastilla. En 18 fincas se emplearon balanzas de cocina digitales marca Hometech, modelo FJ – 0607BD, con rango entre 1 a 2.000 g y resolución de 1 g, y en dos fincas se emplearon balanzas mecánicas de uso doméstico marca Camry con rango entre 0 y 500 g y resolución de 2 g. Cuando la balanza indicó un peso del café de 105 g, éste se retiró del secador, considerando que el contenido de humedad del grano debería estar entre el 10% y 12% (b.h.), lo cual indica la finalización del secado.

De cada lote de café seco se tomaron seis muestras de 10 g cada una, para determinar su humedad por el método de la estufa y estimar el promedio. Después de cuatro horas de haber retirado el café del secador se tomó una muestra compuesta de 400 g, para determinar también la humedad con el medidor indirecto Kappa AK 60B 12-1273.

Con la información de humedad determinada por el método de la estufa y el medidor (indirecto) Kappa, se construyó la distribución



Figura 2. Ilustración del proceso de secado de café pergamino en secadores solares y ubicación de la canastilla.

de frecuencias y se determinó el porcentaje de muestras en las cuales la humedad del grano estuvo entre el 10% y 12% (b.h.).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la precisión del método Gravimet. La humedad del grano que se asumió bajo el método Gravimet para el café lavado y escurrido fue de 53% (b.h.).

En la Tabla 1 se ilustra el promedio de la humedad del grano por ensayo, determinada por la estufa y el método Gravimet (Figura 1), con su respectivo intervalo, con un coeficiente de confianza del 95%. De los 75 casos (bandejas por tiempos de secado), sólo en uno de ellos la humedad obtenida con el método Gravimet fue inferior a la determinada con el método de la estufa, atribuible a la toma de muestras, principalmente del fondo de la bandeja, debido a que en el secador utilizado (flujo de aire vertical ascendente, sin inversión de dirección) la humedad es menor a la de los granos localizados en partes intermedia y alta de la bandeja, por la desuniformidad que se presenta, aún con un espesor de la capa de 2cm. Conviene señalar que con el método Gravimet se determina el promedio de la humedad del café contenido en la canastilla, que se presume es igual al promedio de la bandeja.

En los 74 casos restantes no hubo diferencia estadística entre los promedios de la humedad obtenida con los métodos Gravimet y estufa. La igualdad estadística de los promedios por estufa y Gravimet, de los 74 casos restantes, indica que con el método Gravimet se obtienen contenidos de humedad estadísticamente iguales a los obtenidos con el método de la estufa, desde el inicio del proceso de secado (53% b.h.) hasta llegar al rango recomendado (10-12% b.h.).

En cuanto al promedio de la humedad por tiempo de secado, sólo para el tiempo de secado 16 horas (16 h), el promedio fue mayor por el método estufa que por el método Gravimet, según prueba *t* al 5%; en los demás tiempos de secado, la determinación por estufa fue igual estadísticamente a la del método Gravimet (Tabla 2).

La relación lineal simple entre los promedios de las humedades obtenidos con la estufa y con el método Gravimet, presentó un coeficiente de regresión diferente de cero ($b_e = 0,97$), con un coeficiente de determinación del 99%. Se corroboró que el coeficiente de regresión es estadísticamente igual a 1, según estadístico de prueba *t* al 1%, ($t_c = 2,16$).

De acuerdo con el resultado anterior, con el método Gravimet no se sobrestima ni subestima la humedad determinada por el método de la estufa, a diferencia de algunos equipos indirectos como el Dole, el cual según Jiménez (5), para contenidos de humedad entre el 8,80% a 15,40% (b.h.) y 40% a 45% (b.h.) subestima los valores obtenidos con el método estufa y para valores intermedios de 16% a 38% (b.h.) sobrestima la humedad hasta en un 6,2% (b.h.).

El promedio de la diferencia absoluta por prueba, entre la humedad determinada por el método Gravimet con respecto a la estufa, osciló entre 0,09% y 1,92% (b.h.) (Tabla 3), con errores estándar asociados a los promedios entre 0,03% y 0,89% (b.h.). El promedio de la diferencia absoluta es 1,0% (b.h.).

La relación lineal entre la diferencia absoluta (error absoluto entre el método Gravimet y el método de la estufa) y el tiempo de secado presentó un coeficiente de regresión estadísticamente igual a cero, según prueba *t* al 1%, que indica que el error absoluto o

Tabla 1. Promedios e intervalos para la humedad del grano de café pergamino determinada por estufa y canastilla en diferentes tiempos de secado.

Bandeja	Tiempo de secado (Horas)	Método Estufa			Método Gravimet		
		LI	\bar{x}	LS	LI	\bar{x}	LS
1	2,0	41,42	45,30	49,18	45,21	46,24	47,27
1	4,0	36,31	40,87	45,42	37,85	40,96	44,07
1	6,0	32,44	35,39	38,33	32,99	35,23	37,48
1	8,0	30,21	33,55	36,89	30,70	34,71	38,71
1	10,0	28,58	30,79	32,99	29,46	30,19	30,96
1	12,0	20,61	24,28	27,96	20,79	24,54	28,29
1	13,0	18,46	21,57	24,67	18,75	21,80	24,86
1	13,5	16,01	17,13	18,24	15,96	17,08	18,19
1	14,0	17,09	23,62	30,15	17,16	23,80	30,44
1	14,5	17,41	19,29	21,16	17,88	18,75	19,62
1	15,0	13,24	14,55	15,85	13,11	15,60	18,09
1	15,5	13,59	14,07	14,55	13,10	13,63	14,15
1	16,0	11,16	13,16	15,15	10,81	13,44	16,07
1	16,5	10,22	14,78	19,34	10,08	14,74	19,40
1	17,0	11,70	16,16	20,62	11,52	15,97	20,42
2	2,0	40,14	43,97	47,81	43,86	44,93	45,99
2	4,0	32,17	38,05	43,93	37,23	39,4	41,57
2	6,0	32,40	34,92	37,45	31,57	33,26	34,95
2	8,0	25,33	29,63	33,94	26,52	31,01	35,50
2	10,0	23,46	27,05	30,64	24,10	26,10	28,11
2	12,0	16,75	20,56	24,38	16,90	20,36	23,82
2	13,0	14,37	18,35	22,33	14,86	18,64	22,43
2	13,5	12,55	13,85	15,14	12,72	13,86	15,00
2	14,0	14,51	20,03	25,55	14,04	19,95	25,85
2	14,5	15,04	17,20	19,35	15,10	16,92	18,74
2	15,0	10,57	11,44	12,31	10,17	11,10	12,04
2	15,5	11,37	11,94	12,51	11,44	12,02	12,60
2	16,0	10,88	11,87	12,87	9,25	11,19	13,12
2	16,5	9,29	13,40	17,50	9,03	13,24	17,45
2	17,0	9,70	14,09	18,47	9,12	13,95	18,77
3	2,0	40,01	42,30	44,62	42,50	43,38	44,26
3	4,0	30,84	35,38	39,92	34,30	37,14	39,98
3	6,0	27,89	31,19	34,49	27,70	29,56	31,42
3	8,0	20,76	26,70	32,76	21,53	26,53	31,52
3	10,0	17,94	22,77	27,60	18,39	22,27	26,14
3	12,0	14,79	17,93	21,08	14,78	18,33	21,87
3	13,0	12,71	15,79	18,86	13,78	16,12	18,46

Continúa...

...Continuación

Bandeja	Tiempo de secado (Horas)	Método Estufa			Método Gravimet		
		LI	\bar{x}	LS	LI	\bar{x}	LS
3	13,5	12,05	13,23	14,41	12,24	13,37	14,50
3	14,0	11,46	17,17	22,88	11,26	16,64	22,02
3	14,5	13,65	15,28	16,91	14,04	15,22	16,40
3	15,0	7,67	9,49	11,30	7,08	9,53	11,98
3	15,5	9,11	9,42	9,74	9,00	9,44	9,87
3	16,0	9,72	11,34	12,96	7,75	9,82	11,90
3	16,5	8,72	11,70	14,69	6,60	11,20	15,79
3	17,0	9,36	12,34	15,31	7,91	11,92	15,93
4	2,0	37,81	41,19	44,57	39,51	41,28	43,03
4	4,0	27,66	32,82	37,99	31,67	34,53	37,39
4	6,0	24,75	27,48	30,21	24,84	26,85	28,85
4	8,0	16,94	23,42	29,90	15,53	21,83	28,13
4	10,0	15,98	22,30	28,62	16,75	21,37	25,99
4	12,0	11,93	15,94	19,94	11,98	15,95	19,92
4	13,0	11,13	14,55	17,97	11,27	14,36	17,44
4	13,5	10,18	11,47	12,75	10,05	11,65	13,25
4	14,0	9,71	14,35	18,99	9,14	14,36	19,58
4	14,5	12,45	13,57	14,68	12,59	13,89	15,19
4	15,0	7,88	9,44	11,01	5,92	8,45	10,97
4	15,5	8,03	8,68	9,33	7,83	8,36	8,88
4	16,0	9,94	10,57	11,21	6,96	8,78	10,62
4	16,5	8,16	10,76	13,37	4,81	9,37	13,85
4	17,0	8,85	11,09	13,33	6,56	10,48	14,41
5	2,0	37,52	39,53	41,54	37,30	40,11	42,93
5	4,0	32,82	35,05	37,28	29,10	31,62	34,14
5	6,0	22,05	26,12	30,20	21,30	24,35	27,40
5	8,0	16,67	22,41	28,15	14,35	20,02	25,69
5	10,0	12,91	22,31	31,71	14,09	21,62	29,15
5	12,0	11,63	14,26	16,89	12,46	14,33	16,21
5	13,0	11,23	12,67	14,10	11,62	12,84	14,05
5	13,5	9,24	10,05	10,87	8,96	10,12	11,28
5	14,0	9,59	14,33	19,07	9,44	14,21	18,98
5	14,5	11,40	13,38	15,36	10,24	12,66	15,07
5	15,0	7,08	9,36	11,63	6,84	8,68	10,52
5	15,5	7,36	7,91	8,45	6,78	7,55	8,30
5	16,0	10,11	12,67	15,23	5,70	7,36	9,02
5	16,5	6,52	9,75	12,97	4,46	8,36	12,26
5	17,0	8,50	11,24	13,97	6,60	10,44	14,29

LI y LS: Límites inferior y superior del intervalo, con un nivel de confianza del 95%.

Tabla 2. Promedios de la humedad del café pergamino e intervalos con un nivel de confianza del 95%, por cada tiempo de secado y método de determinación de humedad.

Tiempo de secado (Horas)	Métodos de determinación de humedad					
	Estufa			Gravimet		
	LI	\bar{x}	LS	LI	\bar{x}	LS
2	41,16	42,46 a	43,76	42,17	43,19 a	44,21
4	34,56	36,43 a	38,29	35,17	36,73 a	38,29
6	29,25	31,02 a	32,79	28,16	29,85 a	31,54
8	24,81	27,16 a	29,50	24,12	26,82 a	29,51
10	22,73	25,04 a	27,35	22,36	24,31 a	26,26
12	16,82	18,59 a	20,36	16,94	18,70 a	20,46
13	15,09	16,58 a	18,15	15,22	16,75 a	18,28
13,5	12,18	13,14 a	14,13	12,24	13,21 a	14,20
14	15,64	17,90 a	20,16	15,47	17,79 a	20,11
14,5	14,70	15,74 a	16,78	14,51	15,49 a	16,47
15	9,92	10,86 a	11,79	9,45	10,67 a	11,90
15,5	9,52	10,41 a	11,29	9,31	10,20 a	11,08
16	11,26	11,92 a	12,59	9,08	10,12 b	11,16
16,5	10,71	12,08 a	13,44	9,67	11,37 a	13,08
17	11,62	12,98 a	14,34	10,94	12,55 a	14,16

Letras no comunes implica diferencia estadística según la prueba t al 5%, para cada tiempo de secado.

precisión del método Gravimet no depende de los diferentes contenidos de humedad del grano, que pueden variar desde que inicia el proceso de secado (53% b.h.) hasta su finalización (10% – 12% b.h.), a diferencia de los medidores indirectos como el Kappa, que presentan dependencia de acuerdo con el contenido de humedad.

Con 42 unidades de muestreo se determinó, por el método de la Estufa, un promedio de humedad del grano de 10,7% (b.h.), con límites inferior y superior de 10,2% y 11,2% (b.h.), respectivamente; con el método Gravimet el promedio del porcentaje de humedad fue de 9,8% (b.h.), con límites inferior y superior de 9,1% y 10,6% (b.h.), respectivamente. El error de estimación del método Gravimet para el rango de humedad

determinado por la estufa (10,2% – 11,2% b.h.), fue en promedio de 1,1% (b.h.) con límites inferior y superior de 0,7% y 1,5% (b.h.).

Para este rango de humedad obtenido por estufa y Gravimet se determinó que el peso final de la muestra depositada en la canastilla debe ser en promedio de 104,5g, con un intervalo entre 103,5 y 105,3 g, para asegurar una humedad final del grano entre el 10% y 12% (b.h.), para lo cual se requiere una balanza electrónica con resolución de 0,1 g, de mayor costo que la utilizada por Oliveros (7) con resolución de 1,0 g.

Teniendo en cuenta lo anterior y con el fin de facilitarle al operario la aplicación del método Gravimet, se considera que utilizando

Tabla 3. Promedios de la diferencia absoluta, entre la humedad del café pergamino determinada en la estufa y la determinada con el método Gravimet, para cada tiempo de secado.

Tiempo de secado (Horas)	\bar{x} (%)	E.E. (%)
0	0	0,17
2	2	0,18
4	4	0,53
6	6	0,33
8	8	0,35
10	10	0,09
12	12	0,07
13	13	0,03
13	13	0,03
14	14	0,09
14,5	14,5	0,11
15	15	0,19
15,5	15,5	0,09
16	16	0,89
16,5	16,5	0,30
17	17	0,12

\bar{x} : Promedio; E.E.: Error estándar

una balanza con resolución de 1,0 g, el peso del café en la canastilla deberá estar en el rango de 104 a 105 g para obtener café en el rango de contenido de humedad del 10% al 12% (b.h.).

Evaluación del método Gravimet. El promedio de humedad de cada lote de café seco determinado con el equipo Kappa AK 60B 12-1273 estuvo entre 10,25% y 11,70% (b.h.), y por el método de la estufa varió entre 10,43% y 11,53% (b.h.). En ambos casos el error estándar fue inferior a 0,6% (b.h.), es decir, que la estimación del promedio no llega a variar en 0,6% b.h. (Tabla 4).

El contenido de humedad obtenido por el método Gravimet es de 11% (b.h.) con límites inferior y superior de 10% y 12% (b.h.) con un peso final de muestra de 105 g.

Tabla 4. Promedios (\bar{x}) y error estándar (E.E.) de la humedad del café pergamino por proceso de secado por finca y método de determinación de humedad.

Finca	Métodos de determinación de humedad			
	Kappa		Estufa	
	\bar{x}	E.E.	\bar{x}	E.E.
1	10,54	0,14	10,43	0,19
2	11,25	0,46	10,94	0,33
3	11,25	0,50	11,26	0,43
4	11,73	0,44	11,36	0,51
5	11,04	0,48	10,89	0,42
6	10,25	0,24	10,47	0,41
7	11,64	0,15	11,53	0,30
8	11,71	0,44	11,50	0,40
9	10,89	0,31	10,78	0,23
10	11,13	0,41	11,12	0,37
11	10,96	0,31	10,86	0,24
12	10,82	0,30	10,80	0,34
13	11,08	0,24	10,88	0,19
14	11,39	0,23	11,27	0,26
15	11,47	0,23	11,43	0,22
16	10,97	0,26	11,22	0,35
17	11,20	0,26	11,09	0,26
18	11,77	0,54	11,48	0,67
19	11,18	0,36	10,99	0,33
20	11,28	0,13	11,13	0,16

El promedio de la diferencia absoluta de la humedad determinada con el método Gravimet con respecto a la estufa, fue de 0,71% (b.h.), con límites inferior y superior de 0,59% y 0,84% (b.h.), respectivamente, con un coeficiente de confianza del 95%; mientras que este promedio entre la humedad determinada por el medidor Kappa y la estufa fue de 0,33% (b.h.), con límites inferior y superior de 0,27% y 0,39% (b.h.), respectivamente, presentando buena precisión para contenidos de humedad entre el 10% y 12% (b.h.) Este resultado indica que el equipo Kappa presenta mayor precisión (menor diferencia absoluta) que el Gravimet, aunque este último no supera el 1% (b.h.) y permite medir la humedad del grano durante todo el proceso de secado (en línea).

En las 100 pruebas realizadas se encontró que con el medidor Kappa en un 92% de los casos la humedad del grano estuvo entre el 10% y 12% (b.h.), con un intervalo entre 89,3% y 94,4%, para un nivel de confianza

del 95% (Figura 3). Con el método de la estufa, el intervalo para la estimación de la proporción de casos (93%), que presentaron una humedad del grano entre el 10% y 12% (b.h.), es del 90,0% y 95,6%, con un coeficiente de confianza del 95%.

Este resultado confirmó lo encontrado en el análisis de la determinación de la precisión del método Gravimet, de tal manera que con peso de café en la canastilla de 105 g y balanzas con resolución superior a 1 g, se corre el riesgo de tener contenidos de humedad del grano superiores del 12% (b.h.), con una probabilidad del 7%.

Según los caficultores, el método Gravimet es confiable y fácil de implementar, con el cual pueden determinar la finalización del proceso de secado y realizar el seguimiento de la muestra de café desde que inicia el proceso de secado, lo cual no es posible obtener con los medidores indirectos de humedad disponibles en el mercado.

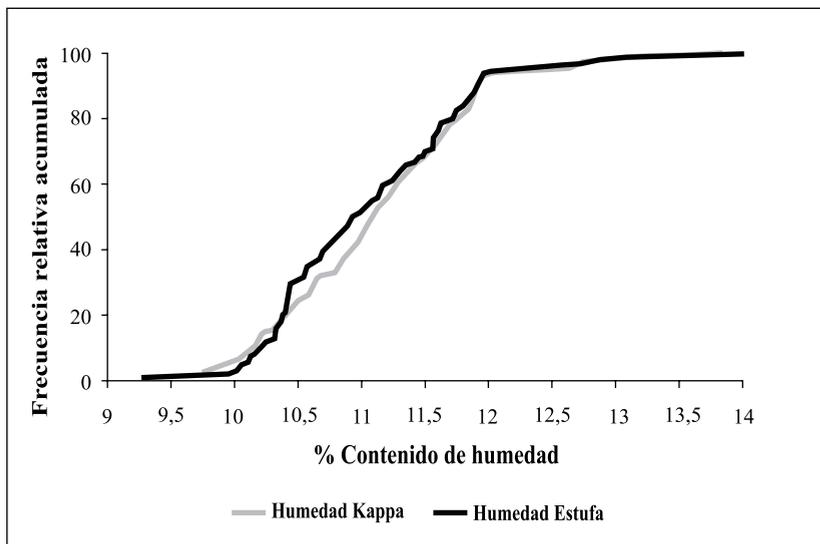


Figura 3. Distribución de frecuencia para la humedad del café pergamino obtenida con los métodos de la estufa y por el Kappa.

El costo de la tecnología Gravimet es de US\$ 25 (US\$ 20 balanza y US\$ 5 canastillas), menor a las tecnologías que hay en el mercado, que superan los US\$ 1.000. Con el método Gravimet el caficultor realiza el seguimiento al proceso de secado y aprende a utilizar mejor su secador. Adicionalmente, la familia cafetera puede utilizarlo y obtener café en el rango del 10% al 12% (b.h.).

Finalmente se puede concluir que:

El método Gravimet es apropiado para medir la humedad del café en secado solar. En el rango de humedad de 53% al 10% (b.h.) presenta precisión entre 1,92% y 0,09% (b.h.) y no sobrestima ni subestima la humedad, con respecto a la determinada por el método de la estufa, según la norma ISO 6673. Para obtener café en el rango del 10% al 12% (b.h.), el peso del café en la canastilla debe estar entre 104 y 105 g.

En la etapa de campo, con 20 caficultores, utilizando el método Gravimet se obtuvo café seco en el rango del 10% al 12% (b.h.), en 93 de 100 lotes de café (93%). La precisión en el campo fue en promedio de 0,71% (b.h.). Los caficultores encontraron que el método Gravimet es confiable, fácil de utilizar y permite aprovechar más eficientemente el área de secado solar disponible en sus fincas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo desean expresar sus agradecimientos a los caficultores de las fincas con las cuales se trabajó, por su disposición y ganas de aprender para lograr la aplicación y evaluación del método Gravimet. Al personal de Beneficio y Taller de Ingeniería Agrícola, por su colaboración en el desarrollo de la investigación. A Rubén Medina y Hernando García compañeros y amigos de la disciplina

de Biometría, por su apoyo y colaboración en toda la investigación. A los compañeros de la disciplina de Ingeniería Agrícola que de alguna forma contribuyeron en la realización y culminación de esta investigación.

LITERATURA CITADA

1. ARISTIZÁBALA, C.; DUQUEO, H. Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. *Cenicafé* 56(4): 219-318. 2005.
2. BROOKER, D.B.; BAKKER A., F.W.; HALL, C.W. *Drying and storage of grains and oilseeds: An AVI book*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 450 p.
3. CLEVESS, R. Tecnología de beneficio de café. *Noticiero del café* 17(203):1-2. 1981.
4. ICONTEC. *Café verde. Determinación de la pérdida de masa a 105 grados Celcius*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, 1987. 6p. (NTC2325).
5. JIMÉNEZ, R.; MATA, G. Calibración de equipos para la medición del contenido de humedad del café. *Agronomía Costarricense* 15(1-2):67-72. 1991.
6. NEITZK, G.; DIVAIR, C.; MACAHDO, S.R.; RAMPELOTTO, G., F.A.; SCHOENINGER, V.; DOS R. T., R.C. Moisture content determination of corn by using a domestic microwaves oven. En: *Brazilian Congress of Agricultural Engineering. CIGR 2008. 37. International Conference of Agricultural Engineering. International Livestock Environment Symposium. ILES 8. 2008, 31 de agosto al 4 de septiembre de 2008. Iguassu Falls City.*
7. OLIVEROS T., C.E. Método para el monitoreo de la humedad del café en secadores solares. En: *Cenicafé. Informe anual de actividades. Chinchiná. 2000 - 2001. 95 p.*
8. -----. Determinación gravimétrica de la humedad del café pergamino. En: *Cenicafé. Informe anual de actividades. Chinchiná: El Centro, 2006. Paginación de la parte citada.?*

9. OLIVEROS T., C.E.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ, U., J.R.; PEÑUELA, M., A. Secador solar de túnel para café pergamino. Chinchiná: Cenicafé, 2006. 8 p. (Avances Técnicos No. 353).
10. PARRA C., A; ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E. SECAFÉ: Modelamiento y simulación matemática en el secado mecánico del café. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental 12(4):415-427. 2008.
11. PUERTA Q., G.I. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. Cenicafé 50(1):78-88. 1999.
12. ROA M., G.; OLIVEROS T., C.E.; ÁLVAREZ G., J.; RAMÍREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; ÁLVAREZ H., J.R.; DÁVILA A., M.T.; ZAMBRANO F., D.A.; PUERTA Q., G.I.; RODRÍGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Chinchiná: Cenicafé, 1999. 273 p.
13. TEWS M. TEWS Electronic. Medición de la humedad para procesos y laboratorio. [En línea]. 2009. Disponible en internet: <http://www.tews-elektronik.com/spanish/patent/index.html>. Consultado en marzo de 2009.