

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO GRAVIMET PARA LA MEDICIÓN DEL
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO EN EL SECADO SOLAR DEL CAFÉ**

**Julieth Jurado Chaná
Esther Cecilia-Montoya R
Carlos-Oliveros T
Javier-García A**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SAN JUAN DE PASTO
2008**

**EVALUACIÓN DEL MÉTODO GRAVIMET PARA LA MEDICIÓN DEL
CONTENIDO DE HUMEDAD DEL GRANO EN EL SECADO SOLAR DEL CAFÉ**

**Julieth Jurado Chaná
Esther Cecilia-Montoya R
Carlos-Oliveros T
Javier-García A**

**Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar el título de Ingeniero
Agrónomo**

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
SAN JUAN DE PASTO
2008**

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCION.....	5
METODOLOGIA	6
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
CONSIDERACIONES FINALES	17
BIBLIOGRAFIA	18

Evaluación del método Gravimet para la medición del contenido de humedad del grano en el secado solar del café

Julieth Jurado-Chaná*; Esther Cecilia-Montoya R**.; Carlos-Oliveros T***.; Javier-García A.****

RESUMEN

Para resolver el problema de medición de la humedad del grano, utilizando secadores solares, Oliveros (8, 9), propuso un método directo, denominado Gravimet, basado en la relación en peso del café en los estados de lavado y seco. El método es de lectura rápida, fácil uso y no requiere la destrucción de la muestra. Para determinar la precisión de éste método, se tuvo como referencia el método de determinación de la estufa, en 80 pruebas de secado, con contenidos de humedad entre 49% y 10% b.h. Los resultados indicaron: que la precisión del método Gravimet, está 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, según la norma ISO 6673 (6); el peso que debe tener la canastilla, para garantizar una humedad entre el 10 y 12%, debe estar entre 104 a 104,5g; la precisión de la balanza, debe ser de 1g. Simultáneamente a la determinación de la precisión del método Gravimet, se evaluó con 20 caficultores, y cada uno de ellos en cinco pruebas de secado, encontrando que en el 92% de los casos, el contenido de humedad estuvo entre el 10 y 12%, con un peso de la canastilla de 105 g.

Palabras clave: humedad del grano, método, balanza, secado solar, precisión, estufa, canastilla.

ABSTRACT

In order to measure the moisture content of coffee grains during solar drying, Oliveros (8, 9) proposed a direct method, so called Gravimet, based on the relationship of the weights before and after drying. The method consists in introducing a control basket within the coffee beans with 200 g of washed coffee and following the weight loss during drying in a digital scale. The final weight of the coffee deposited in the control basket guarantee the grains' moisture content between 10 and 12 %, wet basis, must be between 104,5 to 106,8 g. To determine the precision of this method, the standard stove method (standard ISO 6673) was taking as a reference, in 80 tests, with moisture content varying between 49 % and 10 %, wet basis. The results obtained indicated the precision of the Gravimet method varied between 1,92 and 0,09 % b.h.. The method neither overestimates nor subestimates the moisture content, compared to the values determined in the stove. For better results, the precision of the scale must be 1 g. The method is rapid, reliable, easy to use and nondestructive. Simultaneously to determining the precision of the Gravimet method, it was conducted a field evaluation with 20 coffee growers and five drying tests in each farm, finding that in 92 % of the cases the moisture content was between 10 and 12 %, with a coffee weight in the basket of 105 g.

Key words: moisture measurement, coffee, direct method, solar drying, quality.

* Estudiante de Ingeniería Agronómica. Universidad de Nariño. Pasto. Colombia.

** 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. Pasto. Colombia.

INTRODUCCION

De acuerdo con Roa *et al.*, (13) el secado es el método más utilizado para conservar los granos, en general. Se trata de eliminar una parte del agua del producto hasta donde se garantice su almacenamiento por largo tiempo, evitando el crecimiento de hongos y bacterias, para así conservar la calidad del grano, la inocuidad y mantener un buen aspecto físico.

El grano de café una vez sale de la etapa de lavado se encuentra con un contenido de humedad entre 53% aproximadamente, después de la etapa de secado debe bajar a contenidos de humedad entre el 10 y 12%, para permitir su conservación en etapas posteriores como almacenamiento y transporte según Puerta (12).

CENICAFE (2) manifiesta que “en el secado, la evaporación del agua es debida a la diferencia entre la presión de vapor de agua en la superficie del producto a secar y la del aire que lo rodea. Cuando la presión de vapor de agua del grano es mayor que la presión de vapor de agua del aire se da el proceso de secado, si ocurre lo contrario se presenta un rehumedecimiento del producto y cuando las presiones son iguales hay equilibrio”. Gonzales *et al.* (5) mencionan que durante el secado de los granos, se presentan 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.

De acuerdo con Aristizabal (1) el 94% de los caficultores colombianos emplean para el secado de granos de café, secado al sol en capas entre dos y tres centímetros de altura dispuestas sobre pisos de concreto, pisos construidos en madera, malla metálica o malla plástica. Oliveros *et al.*, (10, 11) y Zambrano *et al.*, (14) determinaron que en las fincas colombianas, generalmente con producción anual inferior a 2,500 k. de café pergamino seco, se utiliza el secado solar con tecnologías como paseras, bandejas móviles (carros secadores), elbas, pisos, secadores parabólicos ó secadores tipo túnel.

En Colombia y en otros países productores, una vez el grano de café ha pasado por el proceso de secado es necesario determinar si el café está en punto de secado es decir con humedad entre el 10 y el 12%b.h., por ello según Roa *et al.*, (13), el caficultor emplea un procedimiento subjetivo en el cual extrae una muestra de varias partes de la capa, luego la trilla y mediante observación del color de las almendras y/o la dureza, decide si el café está listo para ser retirado del secador. FEDECAFE (4) manifiesta que si aquella determinación falla se pueden presentar 2 tipos de defectos presentes en el café: grano flojo y grano sobresecado.

Para la medición de la humedad en el mercado se ofrecen tecnologías basadas en la constante dieléctrica del grano, que varía con su contenido de humedad, estos métodos se denominan indirectos.

Para el empleo exitoso de estas tecnologías 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 superior a cuatro horas. Estos equipos tienen un costo superior a US\$ 1.000.

Tecnologías basadas en métodos directos, como el método Brown-Duvel, de acuerdo con Cleves (3) aunque no son afectadas por la presencia de gradientes de humedad en el interior de los granos, no son viables para pequeños productores de café por el costo, por el tiempo requerido para la medición de humedad (mayor a 20 minutos) y por ser métodos con los cuales se destruye la muestra.

Con el propósito de ofrecer una mejor alternativa en la medición de la humedad del café, durante el proceso de secado en equipos solares, Oliveros (8, 9), 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 de 200 g (sin presencia de flotes, granos muy brocados, guayabas y pulpa) y escurrido durante una hora. Cuando su contenido de humedad llega al 11% el peso deberá estar entre 105 a 106g. La muestra de café se coloca en una canastilla de 12x12x5cm y para pesarla se utiliza una balanza de cocina (costo máximo de US\$ 20), preferiblemente electrónica. En 30 ensayos realizados en el 2006 se logró obtener café en el rango 10-12% en el 100% de las pruebas, con humedad media de 11,3%.

Las estimaciones obtenidas por Oliveros fueron puntuales, por lo tanto con el propósito de entregar el método GRAVIMET al caficultor, esta investigación tuvo como objetivos: determinar la precisión del método teniendo como referencia el método de determinación de la estufa; y evaluar el método GRAVIMET en 20 fincas de caficultores que utilizan secadores solares, con el peso de la canastilla recomendado por Oliveros.

METODOLOGIA

La primera etapa de esta investigación se desarrolló en el Centro Nacional de Investigaciones de Café CENICAFE, situado en el municipio de Chinchina (Caldas) a una altitud de 1,310 m.s.n.m., con una temperatura promedio de 20,6°C, humedad relativa promedio de 75%, 4° 58' latitud norte y 75° 42' longitud oeste. La segunda etapa se realizó en 20 fincas de caficultores que emplean secadores solares, del departamento de Caldas.

Para determinar la precisión del método Gravimet, se empleó un secador mecánico de muestras, disponible en el laboratorio de Beneficio de Cenicafé, que consta de cinco bandejas. Se tuvieron los tiempos de secado de 2h, 4h, 6h, 8h, 10h, 12h, 13h, 13.5h, 14h, 14.5h, 15h, 15.5h, 16h, 16.5 y 17h, con el fin de abarcar el mayor número posible de niveles de humedad del proceso de secado, desde el inicio hasta cuando alcanza contenidos de humedad cercano al 10 o 12%.



(a)



(b)

Figura 1. (a) Estufa empleada en la 1 y 2 etapa del trabajo y (b) ubicación de la canastilla en la bandeja 1, del secador mecánico.

En cada tiempo de secado, y en cada bandeja (unidad de muestreo), se colocó 5kg de café procesado y lavado con la tecnología BELCOSUB, dispuesto en capa de 2cm de espesor máximo. De la misma muestra con la que se alimentó cada bandeja, se dispuso en el centro de ella, la canastilla (Figura 1b) con una cantidad de 200g, capa delgada (2cm de espesor máximo). Una vez transcurrido el tiempo de secado establecido, se retiraron las bandejas con la canastilla. El café contenido en la canastilla retirada, se pesó y con el peso obtenido se obtuvo la humedad en b.h. (**valor observado**), utilizando la siguiente expresión:

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

Donde:

Pi : peso inicial del café, g

Pf : peso final, g

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

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

Oliveros (7) determinó el contenido de humedad inicial (53%) cuando ha terminado el proceso de lavado, para determinar el peso inicial de la muestra (200 g.) y el peso final (105 g.) después de que la muestra haya perdido el 47% de su peso inicial, por tanto se asumió 53% como contenido inicial de humedad, ya que a partir de este valor se determinó la diferencia de pesos empleada en el método Gravimet.

Del café de cada bandeja retirada, se tomaron seis muestras, cada una compuesta de 10 gramos de café, con las cuales se determinó la humedad del grano por el método estándar de la estufa (Figura 1a) (6).

Con estos valores de humedad obtenidos en la estufa, 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 humedad, es igual a la estimada por el método Gravimet (en 200g de café escurrido), a través del estadístico de prueba t, al 5%.

Con la información generada de determinación de humedad por el método estándar de la estufa y por el método 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%.
- 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.
- Para cada tiempo de secado se determinó la diferencia absoluta entre valor observado (canastilla) y valor real (estufa). Esta diferencia se denomina error de estimación absoluto del método Gravimet, el cual es la precisión del método y es la variable de interés de esta investigación y estimación del promedio para la variable de interés y su error estándar, en cada tiempo de secado.
- Regresión lineal simple, teniendo como variable dependiente (Y), 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% aproximadamente) fuese mayor o igual al 10% y menor o igual al 12%, respectivamente, se determinó el peso final que debe tener la muestra depositada en canastilla del método Gravimet, para determinar que la humedad del grano esté en dicho intervalo.

Simultáneamente, con la determinación de la precisión del método, se evaluó el método GRAVIMET, con 20 caficultores que emplean secador solar, durante cinco procesos de secado, de la siguiente manera: Al momento de colocar la masa de café en el secador solar, se tomó una muestra de 200g de café sano, sin granos brocados, ni atacados por mancha de hierro, limpio, es decir, sin guayabas, pulpa u otras impurezas. La muestra se depositó en la canastilla y se colocó en el secador sobre la malla (sin base con café). 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 la canastilla; en 18 fincas se empleó balanzas digitales marca Mettler modelo PB 8001, con rango entre 1 a 5000 g. y sensibilidad de 1 g., y en 2 fincas se empleó balanzas mecánicas de uso doméstico marca Camry con rango entre 0 y 500 g. y sensibilidad de 2 g., cuando la balanza indicó un peso de 105gr, recomendado por Oliveros (8, 9), se retiraba la masa del secador, dado que el contenido de humedad del grano debería estar entre el 10 y 12% b.h., lo cual indica la finalización del proceso de secado (Figura 2).

De la masa de café seco, se tomaron seis muestras, de 10 g cada una, para determinar la humedad por el método de la estufa y se estimó el promedio de humedad por muestra, por proceso. Después de retirado el café del secador, se dejó reposar bajo sombra, durante cuatro horas y se tomó una muestra compuesta de 400g, para determinar 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 método indirecto Kappa, se construyó la distribución de frecuencias y se determinó el porcentaje de casos en los cuales la humedad del grano, estuvo entre el 10 y el 12%.



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

Nota: los 20 caficultores empleaban el método subjetivo para determinar la medición del contenido de humedad del grano al finalizar el proceso de secado, empleando el método Gravimet no fue necesario continuar empleando el método subjetivo, el cual no genero ninguna implicación en el desarrollo de la investigación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la precisión del método Gravimet. La estimación de la humedad dada por el método Gravimet para el café lavado y escurrido, es del 53%_{b.h.} y el promedio estimado con el método de la Estufa fue del 52,5% con un límite inferior y superior del 52,2 y 52,7%_{b.h.} respectivamente.

En la Tabla 1, se ilustra la humedad promedio del grano por ensayo, determinada por la estufa (Figura 2a) y el método Gravimet (Figura 1b), con su respectivo intervalo, con un nivel de confianza del 95%. De los 75 casos (bandejas por tiempos de secado), sólo en uno de ellos la humedad del método Gravimet estuvo por debajo de la humedad obtenida con el método de la Estufa. La igualdad estadística de los promedios por Estufa y Gravimet de los 74 casos restantes muestra que, los valores que se obtienen con el método de medición Gravimet, no dependen del proceso que se mide.

En cuanto a la humedad promedio por tiempo de secado, sólo para el tiempo de secado 16 horas (16h), el promedio de humedad fue mayor por 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. En general a mayor tiempo de secado menor humedad del grano (Tabla 2).

La relación lineal simple entre la humedad media con la Estufa y la humedad media con el método Gravimet, indicó un coeficiente de regresión diferente de cero ($b_e = 0,975$), con un coeficiente de determinación del 99%. Se corroboró que la estimación del coeficiente de regresión es estadísticamente igual a 1, según estadístico de prueba t al 1%, ($t_c = 2,16$).

Lo cual implica que con el método Gravimet no se sobrestima ni subestima la humedad determinada por el método de la Estufa, los contenidos de humedad determinados por el método de la estufa y por el método Gravimet son igual estadísticamente, a diferencia de algunos equipos indirectos como el medidor indirecto Dole el cual según Jiménez (7) para contenidos de humedad entre el 8,8 a 15,4% y 40 a 45% subestima los valores obtenidos con la estufa y para valores intermedios de 16 a 38% sobrestima la humedad hasta en un 6,2%

Tabla 1. Promedio e intervalo para la humedad del grano 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	41,42	45,30	49,18	45,21	46,24	47,27
1	4	36,31	40,87	45,42	37,85	40,96	44,07
1	6	32,44	35,39	38,33	32,99	35,23	37,48
1	8	30,21	33,55	36,89	30,70	34,71	38,71
1	10	28,58	30,79	32,99	29,46	30,19	30,96
1	12	20,61	24,28	27,96	20,79	24,54	28,29
1	13	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	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	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	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	11,70	16,16	20,62	11,52	15,97	20,42
2	2	40,14	43,97	47,81	43,86	44,93	45,99
2	4	32,17	38,05	43,93	37,23	39,4	41,57
2	6	32,40	34,92	37,45	31,57	33,26	34,95
2	8	25,33	29,63	33,94	26,52	31,01	35,50
2	10	23,46	27,05	30,64	24,10	26,10	28,11
2	12	16,75	20,56	24,38	16,90	20,36	23,82
2	13	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	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	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	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	9,70	14,09	18,47	9,12	13,95	18,77
3	2	40,01	42,3	44,62	42,5	43,38	44,26
3	4	30,84	35,38	39,92	34,30	37,14	39,98
3	6	27,89	31,19	34,49	27,70	29,56	31,42
3	8	20,76	26,70	32,76	21,53	26,53	31,52
3	10	17,94	22,77	27,60	18,39	22,27	26,14
3	12	14,79	17,93	21,08	14,78	18,33	21,87
3	13	12,71	15,79	18,86	13,78	16,12	18,46

Li y Ls: Limite inferior y superior del intervalo con un nivel de confianza del 95%

Continuación **Tabla 1.** Promedio e intervalo para la humedad del grano determinada por estufa y canastilla a diferentes tiempos de secado.

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	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	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	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	9,36	12,34	15,31	7,91	11,92	15,93
4	2	37,81	41,19	44,57	39,51	41,28	43,03
4	4	27,66	32,82	37,99	31,67	34,53	37,39
4	6	24,75	27,48	30,21	24,84	26,85	28,85
4	8	16,94	23,42	29,90	15,53	21,83	28,13
4	10	15,98	22,30	28,62	16,75	21,37	25,99
4	12	11,93	15,94	19,94	11,98	15,95	19,92
4	13	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	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	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	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	8,85	11,09	13,33	6,56	10,48	14,41
5	2	37,52	39,53	41,54	37,30	40,11	42,93
5	4	32,82	35,05	37,28	29,10	31,62	34,14
5	6	22,05	26,12	30,20	21,30	24,35	27,40
5	8	16,67	22,41	28,15	14,35	20,02	25,69
5	10	12,91	22,31	31,71	14,09	21,62	29,15
5	12	11,63	14,26	16,89	12,46	14,33	16,21
5	13	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	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	7,08	9,36	11,63	6,84	8,68	10,52
5	15,5	7,36	7,91	8,45	6,7892	7,55	8,30
5	16	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	8,50	11,24	13,97	6,60	10,44	14,29

Li y Ls: Limite inferior y superior del intervalo con un nivel de confianza del 95%

La diferencia absoluta promedio por prueba, entre la humedad determinada por el método Gravimet con respecto a la Estufa, osciló entre 0,09 y 1,92% (Tabla 3), con errores de estimación entre 0,03 y 0,89.

Esto implica, que la precisión del método Gravimet fluctúa entre 0,09 y 1,92%, entre los diferentes tiempos de secado evaluados con un promedio de 1 g., lo cual significa buena precisión, y a diferencia del medidor indirecto Kappa el cual solo presenta buena precisión (0,33%) para contenidos de humedad entre el 8 y 18% según Doebelin (1966), citado por Oliveros (8).

La relación lineal entre la diferencia absoluta (error absoluto entre el método Gravimet y el método de la estufa) y el tiempo de secado indicó un coeficiente de regresión estadísticamente igual a cero, según prueba *t* al 1%, lo que significa que el error absoluto o precisión del método Gravimet no depende del tiempo de secado, es decir que la 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%), hasta su finalización (10 – 12%) a diferencia de los medidores indirectos como el Kappa que presentan dependencia de acuerdo con el contenido de humedad.

Tabla 2. Humedad promedio e intervalo 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 implican diferencia estadística según la prueba *t* al 5%, para cada tiempo de secado.

Con 42 unidades de muestreo, se determinó por el método de la Estufa un promedio de humedad del grano de 10.7%, con un límite inferior y superior de 10,2 y 11,2% respectivamente. A este porcentaje promedio de humedad por Estufa, le correspondió, de acuerdo con las mismas unidades de muestreo, una humedad media con el método Gravimet de 9,8% y un límite inferior y superior de 9.1 y 10,6% respectivamente. El error de estimación del método Gravimet para el rango de humedad determinado por la Estufa (10,2 – 11,2%), fue en promedio 1,1 con un límite inferior y superior de 0,7 y 1,5.

En esta circunstancia de determinación de humedad por Estufa y Gravimet, se determinó que el peso final de la muestra depositada en la canastilla para asegurar una humedad del grano en secado solar, es en promedio de 104,5 g, con un intervalo entre 103,5 y 105,3 g, lo cual corresponde a la precisión de la balanza (1.0 g).

Oliveros (8) determinó como peso final 105 a 106 g., con una balanza digital o mecánica, con estos requerimientos el método Gravimet presenta en algunos casos contenidos de humedad superior al 12%, dicha humedad disminuye la calidad del café y genera rechazo en la venta del café. El peso de 104,5 g., es un peso promedio; al emplear una balanza digital con sensibilidad de 1 g., se incurre en el riesgo de determinar un peso de 103,5 a 105,5 g., este valor es el intervalo permitido para que el contenido de humedad siempre este entre el 10 a 12%.

Tabla 3. Diferencia absoluta promedio, entre la humedad determinada en la estufa y la determinada con Gravimet, para cada tiempo de secado.

Tiempo de secado (Horas)	Promedio	Error estándar
0	0,55	0,17
2	0,73	0,18
4	1,67	0,53
6	1,17	0,33
8	1,35	0,35
10	0,73	0,09
12	0,19	0,07
13	0,25	0,03
13	0,09	0,03
14	0,19	0,09
14,5	0,38	0,11
15	0,62	0,19
15,5	0,25	0,09
16	1,92	0,89
16,5	0,70	0,30
17	0,43	0,12

Evaluación del método Gravimet. El promedio por proceso, de la humedad al finalizar el secado, determinada con el equipo Kappa AK 60B 12-1273, estuvo entre 10,25 y 11,7% y por el método de determinación de la estufa, la humedad promedio varió entre 10,43 y 11,53%. En ambos casos el error estándar fue inferior a 0,6 (Tabla 4).

La diferencia absoluta promedio de la humedad determinada con el método Gravimet con respecto a la Estufa, fue de 0,71% b.h., con un límite inferior y superior de 0,59 y 0,84 respectivamente, con un coeficiente de confianza del 95%. La diferencia absoluta promedio entre la humedad determinada por el medidor Kappa y la Estufa fue de 0,33%, con un límite inferior y superior de 0,27 y 0,39 respectivamente. Este resultado indica que hay mayor precisión (menor diferencia absoluta), con el método de determinación Kappa que con el Gravimet, aunque éste último no supera el 1%b.h. y permite, medir la humedad del grano durante todo el proceso de secado (en línea).

Tabla 4. Humedad promedio por proceso de secado y error de estimación por finca y método de determinación de humedad.

Finca	Métodos de determinación de humedad			
	Kappa		Estufa	
	\bar{x}	EE	\bar{x}	EE
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

EE: error estándar

De 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%, con un intervalo entre 89,3 y 94,4%, para un nivel de confianza del 95% (Figura 4). 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%, es del 90 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 para pesos de la canastilla de 105 g, se corre el riesgo de tener contenidos de humedad del grano, superior del 12%, con una probabilidad del 7%. Según los caficultores, el método Gravimet es un método fácil de implementar y confiable, 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.

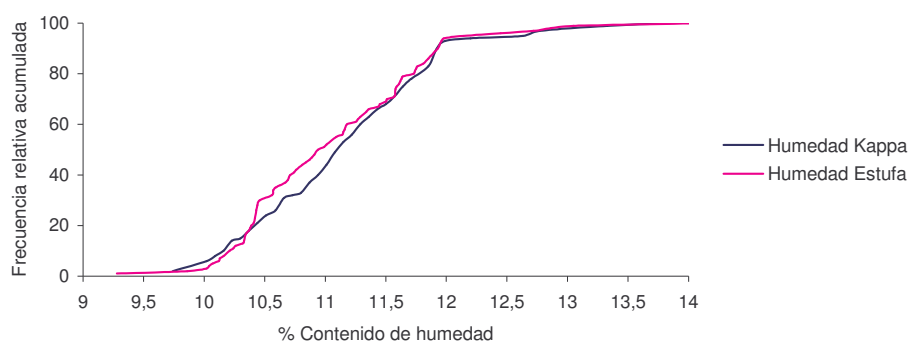


Figura 4. Distribución de frecuencia para la humedad obtenida con el método de la Estufa y por el Kappa.

Es de anotar que, Roa *et al.* (13) encontraron que más del 30% de las muestras analizadas, de fincas colombianas que utilizan métodos empíricos, presentan humedades fuera del rango de comercialización (por debajo del 10% y/o por encima del 12%).

En cuanto a la parte económica, el costo de aplicar el método Gravimet es solo de US\$ 25, (US\$ 20 balanza, US\$ 5 canastilla (7 canastillas) aproximadamente), muy inferior a las tecnologías que hay en el mercado que superan los US\$ 1.000. Este valor es asequible para los caficultores y los materiales son fácil de conseguir en el mercado, adicional a ello les ayuda a realizar un seguimiento de la variación del peso de la muestra durante todo el proceso y si el café se rehumedece el método detecta esta variación al incrementar el peso, lo cual no se podía evidenciar con el método subjetivo comúnmente empleado por los caficultores, ni por los medidores de humedad disponibles en el mercado, los cuales solo determinan el contenido de humedad una vez finaliza el proceso y la muestra reposa 4 horas (9).

CONSIDERACIONES FINALES

METODO GRAVIMET

Gravimet significa perdida en peso, el método fue propuesto en Cenicafe por Oliveros (8) desde el 2001 se evalúa en Cenicafé y en el 2007 y 2008 se determinó su precisión y evaluación en campo. El método se emplea para hacer el seguimiento de la humedad del café, durante el secado solar y determinar cuando el producto está entre el rango del 10 al 12%.

Este método esta basado en la relación entre el peso de una muestra de café húmedo, sano, lavado y escurrido y el peso que tendría a un nivel de humedad final del 11%, valor considerado adecuado para evitar la presencia de granos flojos o sobresecados.

Para la aplicación del método se emplea una muestra de café sano de 200 g (sin presencia de flotes, granos muy brocados, guayabas y pulpa), la cual se dispone en una canastilla de 12x12x5cm construida en malla plástica, la canastilla se deposita en el secador solar junto con el resto del café sobre el piso del secador, diariamente se pesa el café contenido en la canastilla con una balanza digital con sensibilidad de 1 g., (costo máximo de \$ 40.000), y cuando el peso de la muestra sea 104,5 g. el café tendrá un contenido de humedad entre el 10 y 12%, momento en el cual se debe retirar el café del secador solar.

Se recomienda no perder granos contenidos en la canastilla, ya que este acontecimiento afectaría el peso de la muestra y causaría una mala determinación del momento de finalización del proceso de secado; la muestra contenida en la canastilla debe sufrir los mismos cambios que el resto de café por tanto cada vez que se revuelva el café contenido en el secador (mínimo 3 veces/día), la muestra se revuelve con los dedos simulando el mismo proceso.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este artículo desean expresar sus agradecimientos a los caficultores de las fincas con las cuales se trabajo, 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.

BIBLIOGRAFIA

1. ARISTIZABAL A., C.; DUQUE O., H. Caracterización del proceso de beneficio de café en cinco departamentos cafeteros de Colombia. Chinchina, Cenicafé, 56 (4): 219-318. 2005
2. CENTRO NACIONAL DE INVESTIGACIONES DE CAFÉ. Chinchina, Colombia. Fundamentos del Beneficio de Café. Chinchina. Cenicafé, 1991. 257p.
3. CLEVES S., R. Tecnología de beneficio de café. Costa Rica, Noticiero del café 17 (203): 1-2. 1981. 2p
4. FEDERACION NACIONAL DE CAFETEROS. La calidad del café va en su beneficio: Identifique los defectos del café. Bogotá, Colombia, 2006. 16p.
5. GONZALES R., R.; RESTREPO V., G; TORO L., H.I. Diseño preliminar teórico de un secador, diseño de plantas y equipos. Manizales, Universidad Nacional, 1983. 198p.
6. INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TECNICAS Y CERTIFICACION. Café tostado y molido. Determinación de la perdida de masa a 105 grados Celsius, 1987 (NORMA ISO 6673)
7. JIMENEZ R.; MATA G. Calibración de equipos para la medición del contenido de humedad del café. Costa Rica, Agronomía Costarricense 15 (1-2) 67-72. 1991. 5p
8. OLIVEROS T., C.E. *In:* ING 0827. Método para el monitoreo de la humedad del café en secadores solares. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Informe Anual de Actividades, Disciplina de Ingeniería Agrícola, 2000 – 2001. Chinchina, Cenicafé, 2001.
9. OLIVEROS T., C.E. *In:* ING 0829. Determinación gravimétrica de la humedad del café pergamino. Centro Nacional de Investigaciones de Café. Cenicafé, Informe Anual de Actividades, Disciplina de Ingeniería Agrícola, 2006. Chinchina, Cenicafé, 2006.
10. OLIVEROS T., C.E.; RAMIREZ G., C.A.; ROA M., G. Construya el secador solar parabólico. Chinchina, CENICAFE, 2002. 8p. (Avances técnicos N° 305)
11. OLIVEROS T., C.E.; RAMIREZ G., C.A.; SANZ U., J.R.; PEÑUELA M., A. Secador solar de túnel para café pergamino. Chinchina, CENICAFE, 2006. 8p. (Avances técnicos N° 353).
12. PUERTA Q., G.I. Influencia del proceso de beneficio en la calidad del café. Chinchina, Cenicafé 50 (1): 78-88, 1999.
13. ROA M., G. OLIVEROS T., C.E. ALVAREZ G., J. RAMIREZ G., C.A. SANZ U., J.R. ALVAREZ H., J.R. DAVILA A., M.T. ZAMBRANO F., D.A. PUERTA Q., G.I.

RODRIGUEZ V., N. Beneficio ecológico del café. Cenicafé. Colombia, Chinchina, 1999. 273p.

14. ZAMBRANO F., D.A.; LOPEZ P., U.; RODRIGUEZ V., N.; RAMIREZ G., C.A.; Paseras solares de bajo costo para secar café. Chinchina, CENICAFE, 2006. (Avances técnicos N° 345)