



Especialización en Estadística Aplicada

# IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LA MUESTRA DE REFERENCIA PARA LA CALIBRACIÓN DE DETERMINADORES DE HUMEDAD DE CAFÉ PERGAMINO SECO

MARÍA ALEJANDRA LÓPEZ RAMOS



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

Obra de Iglesia  
de la Congregación



Hermanas de la Caridad  
Dominicas de La Presentación  
de la Santísima Virgen

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA  
ELABORACIÓN DE LA MUESTRA DE REFERENCIA PARA LA CALIBRACIÓN  
DE DETERMINADORES DE HUMEDAD DE CAFÉ PERGAMINO SECO**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
Especialista en Estadística Aplicada

Asesor

Yeison Alberto Garcés Gómez, PhD

Autor:

María Alejandra López Ramos

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE MANIZALES  
FACULTAD DE EDUCACIÓN  
ESPECIALIZACIÓN EN ESTADÍSTICA APLICADA  
MANIZALES

2022

**IMPLEMENTACIÓN DE UNA METODOLOGÍA PARA LA ELABORACIÓN DE  
LA MUESTRA DE REFERENCIA PARA LA CALIBRACIÓN DE  
DETERMINADORES DE HUMEDAD DE CAFÉ PERGAMINO SECO**

**IMPLEMENTATION OF A METHODOLOGY FOR THE PREPARATION OF  
THE REFERENCE SAMPLE FOR THE CALIBRATION OF MOISTURE  
DETERMINATORS OF DRY PARCHMENT COFFEE**

María Alejandra López Ramos  
Estudiante especialización Estadística Aplicada  
Universidad Católica de Manizales  
[maria.lopez22@ucm.edu.co](mailto:maria.lopez22@ucm.edu.co)  
Yeison Alberto Garcés Gómez, PhD  
Profesor titular de la Universidad Católica de Manizales  
[ygarces@ucm.edu.co](mailto:ygarces@ucm.edu.co)

---

## **Resumen**

El Centro Nacional de Investigaciones en Café (Cenicafé) utiliza diferentes instrumentos para realizar las mediciones necesarias en los diferentes proyectos de investigación. Para la medición de la humedad del café, se emplean instrumentos llamados determinadores de humedad, estos dispositivos son calibrados con proveedores externos y este proceso puede tardar alrededor de tres meses, causando retrasos en los procesos de investigación que requieran de estos dispositivos.

El objetivo de esta investigación es implementar en el laboratorio de metrología de Cenicafé el procedimiento para la obtención del patrón de medida, el cual será la referencia para la calibración de estos determinadores de humedad.

Este procedimiento debe ser validado en cumplimiento del numeral 7.2.2 *Validación de métodos; de la Norma Técnica Colombiana NTC 17025 del 2017*, el cual indica que se deben con ciertas características de desempeño, que pueden ser, pero no se limitan a:

- Rango,
- Exactitud,
- Incertidumbre,
- Selectividad,
- Linealidad,
- Repetibilidad,
- Robustez,
- Sesgo

Como resultados se espera una reducción en los tiempos de calibración de 3 meses con proveedor externo a aproximadamente 3 días en el laboratorio de metrología; adicionalmente se espera una reducción en los costos de calibración, puesto que anualmente es presupuestado \$30.000.000 COP. para esta actividad cuando Cenicafé cuenta con toda la infraestructura necesaria para ejecutar estas calibraciones internamente.

**Palabras clave:** Calibración, medición de humedad, café pergamino, Validación Estadística

**Abstract:**

The National Center for Coffee Research - Cenicafé uses different instruments to carry out the necessary measurements in the different research works. To measure coffee moisture, instruments called moisture determiners are used. These devices are sent to be calibrated with an external provider, a process that takes about three months, causing delays in the research processes that require these devices.

The objective of this research is to implement in the Cenicafé metrology laboratory the procedure to obtain the measurement standard, which will be the reference for the calibration of these humidity determinants.

This procedure must be validated in compliance with numeral 7.2 of NTC 17025, which indicates that certain performance characteristics must be met.

A reduction in calibration times is expected from 3 months with an external provider to approximately 3 days in the metrology laboratory; Additionally, a reduction in calibration costs is expected, since almost \$30,000,000 are budgeted annually for this activity when Cenicafé has all the necessary infrastructure to carry out these calibrations internally.

**Keymords:** Calibration, moisture measurement, parchment coffee, Statistical Validation

## Introducción

El Organismo Nacional de Acreditación – ONAC es la entidad que acredita los laboratorios de calibración en Colombia. Para la calibración de determinadores de humedad de café pergamino con lectura directa, se encuentra que el único laboratorio acreditado, en Colombia, a la fecha es ALMACAFÉ, quien cuenta con acreditación desde el 2020-07-29, y emplea un procedimiento interno validado que permite la calibración de estos instrumentos con un intervalo de  $8,91 \text{ g} / 100 \text{ g} \leq \%H \leq 13,15 \text{ g} / 100 \text{ g}$  y una incertidumbre expandida de medida de 0,30 [g/100 g].

El ICONTEC publicó la norma técnica colombiana NTC 6102 2015-02-18; Café verde. Procedimiento para la calibración de medidores de humedad. Método de rutina. Esta norma es una adopción por traducción y modificada respecto al documento de referencia la norma ISO 24115:2012. Green coffee — Procedure for calibration of moisture meters — Routine method. Ambos documentos normativos aplican únicamente para medidores de humedad de café verde, pero no hay normas técnicas que describan la calibración de medidores de humedad de café pergamino seco.

Jimenez & Mata (1991), muestra los resultados de la calibración de dos determinadores de humedad de café pergamino seco y café oro, empleando como referencia la medición de humedad (Steinlite y Dole 400) por el método del horno de convección mecánica ISO 1447 para café verde (1978), la cual fue anulada el 22/06/2000.

Cenicafé cuenta con su propio laboratorio de metrología desde el año 2011 para la calibración de los equipos que se utilizan en los diferentes proyectos de investigación del centro. En este laboratorio se calibran los equipos de las magnitudes masa, temperatura, volumen y pH; también se gestionan las calibraciones de los equipos de otras magnitudes; estas calibraciones se contratan con proveedor externo preferiblemente acreditado, incluyendo entonces la calibración de los determinadores de humedad.

Bajo un previo análisis del anexo A *Preparación De La Muestra De Referencia Y Determinación Del Contenido De Humedad Como Perdida De Fracción De Masa* de la norma NTC 6102 2015-02-18, se deduce que Cenicafé cuenta con la infraestructura y equipos necesarios para realizar la calibración interna de los determinadores de humedad, sin embargo, siendo la norma mencionada aplicada a la calibración de los medidores de humedad de café verde, es necesario validar este procedimiento para la calibración de los medidores de humedad de café pergamino seco.

Este documento se enfoca en la validación e implementación del método para obtener la referencia que permita la calibración de los determinadores de humedad de café pergamino seco en el laboratorio de metrología de Cenicafé

## Marco teórico / referentes teóricos

### 1. Conceptos de metrología

Para el desarrollo de este proyecto, se requiere conocer algunos conceptos de metrología, los cuales son tomados del Vocabulario Internacional de Metrología VIM 3ª edición en español del Centro Español de Metrología:

**1.1. Metrología (VIM 2.2):** Es la ciencia que se encarga de estudiar las mediciones, incluyendo la teoría y práctica de las mismas en cualquier campo de aplicación y con su respectivo valor de incertidumbre.

**1.2. Instrumento de medida (VIM 3.1):** Elemento, equipo o conjunto de estos que sirve para medir.

**1.3. Indicación (VIM 3.1):** observado en el instrumento al realizar la medición.

**1.4. Resolución (VIM 4.14):** cambio mínimo que puede marcar el indicador del instrumento de medida.

**1.5. Magnitud (VIM 1.1):** propiedad de un cuerpo o un fenómeno, que puede medirse y expresarse numéricamente.

**1.6. Unidad de medida (VIM 1.9):** cantidad de una magnitud, definida por acuerdos internacionales, que puede ser representada con un número.

**1.7. Sistema Internacional de Unidades (VIM 1.16):** Conjunto de los nombres y símbolos de las unidades de medida, aceptado por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM), los cuales se muestran en la tabla 1:

Tabla 1

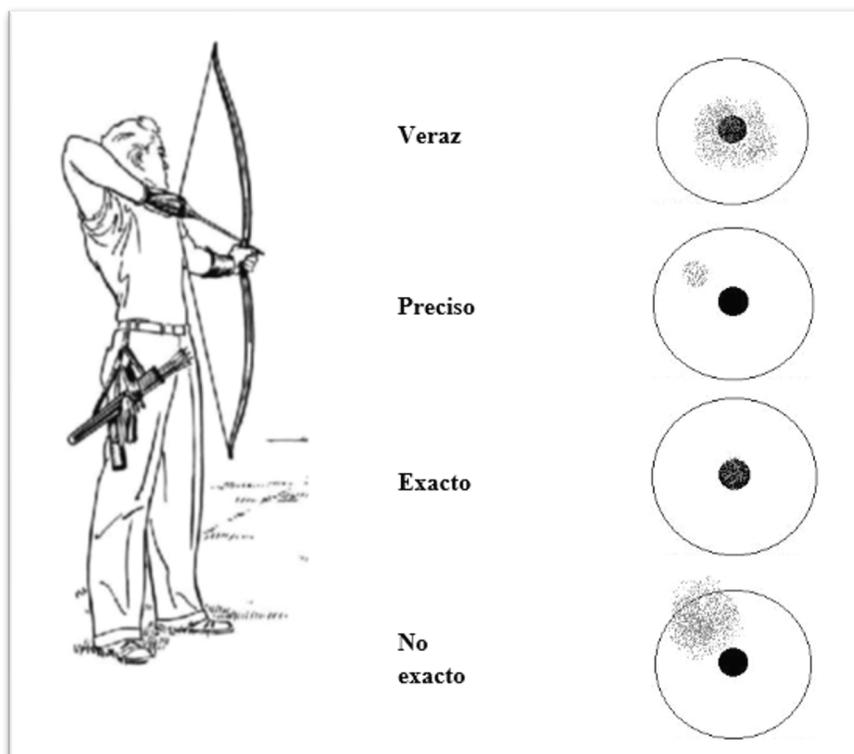
Sistema internacional de unidades

Magnitud básica	Unidad básica	
	Nombre	Símbolo
Longitud	metro	m
Masa	kilogramo	kg
Tiempo	segundo	s
Corriente eléctrica	amper	A
Temperatura Termodinámica	kelvin	K
Cantidad de sustancia	mol	mol
Intensidad Luminosa	candela	cd

Nota. Adaptación de Vocabulario internacional de metrología CEM

- 1.8. Medición / medida (VIM 2.1):** proceso que consiste en obtener experimentalmente uno o varios valores que pueden procedimiento para obtener de forma experimental el valor de una magnitud.
- 1.9. Método de medida (VIM 2.5):** Son todas las operaciones ejecutadas secuencialmente para realizar una medida.
- 1.10. Error de medida (VIM 2.9):** diferencia entre el valor y el valor del patrón o referencia.
- 1.11. Veracidad de medida (VIM 2.14):** cercanía entre la media de las mediciones repetidas y el valor del patrón o referencia.
- 1.12. Precisión de medida (VIM 2.15):** cercanía entre sí de las indicaciones o los valores de mediciones repetidas.
- 1.13. Exactitud de medida (VIM 2.13):** este concepto no se expresa numéricamente, pero es definido por la norma ISO 5725 a través de la veracidad y la precisión, como se muestra en la figura 1:

Figura 1  
definición gráfica de la exactitud



Nota.

Tomado de <http://clipart-library.com/clipart/200076.htm> y [https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod\\_resource/content/1/exactitud\\_y\\_precisin.html](https://formacion.intef.es/pluginfile.php/246707/mod_resource/content/1/exactitud_y_precisin.html)

- 1.14. Repetibilidad de medida (VIM 2.21):** precisión de la medida en condiciones de repetibilidad, es decir, mediciones realizadas con el mismo procedimiento, los mismos operadores, el mismo sistema y las mismas condiciones para el mismo objeto.
- 1.15. Reproducibilidad de medida (VIM 2.25):** precisión de la medida en condiciones de reproducibilidad, es decir, mediciones realizadas en diferentes lugares, con diferentes operadores, diferentes condiciones al mismo objeto.

- 1.16. Incertidumbre de medida (VIM 2.26):** Valor no negativo con el que se evidencia la dispersión de las mediciones, teniendo en cuenta los diferentes factores que afectan la medición.
- 1.17. Patrón de medida (VIM 5.1):** Material, fenómeno, equipo u otro elemento de valor conocido que sirve como referencia.
- 1.18. Calibración (VIM 2.39):** Operación que relaciona los valores de medida con sus respectivas incertidumbres, obtenidas del patrón de medida y las respectivas indicaciones; posteriormente esta información se utiliza para obtener el resultado de la medida partiendo de la indicación.
- 2. Confirmación Metrológica (NTC ISO 10012 3.5):** Actividades que se realizan con el fin de asegurar que los instrumentos de medición estén conformes a los requisitos de uso. Esta confirmación incluye normalmente verificaciones y calibraciones, reparaciones, ajustes y mantenimiento. Estas actividades deben estar documentadas y registradas.
- 3. Determinador portátil de humedad:** Instrumento que mide de forma no destructiva el contenido de humedad en granos. Esta medida se hace utilizando la capacidad, comparando la constante dieléctrica de la muestra sólida con agua. Cuenta con una balanza integrada y un termistor para compensación automática de temperatura y densidad. (Manual KETT PM 450).

*Figura 2*

*Determinador de humedad KETT*



Nota: Tomado de <https://www.somosmagra.com/es/determinador-de-humedad-kett-pm-450-de-la-seccion-kett-de-array-en-colombia-CP1239>

4. **Pérdida de masa a 105 °C:** Principalmente agua y cantidades pequeñas de materia volátil que se evaporan, se expresan como porcentaje de masa.
5. **Café pergamino:** Es el producto del beneficio del grano el cual se obtiene después de quitarle la cáscara y el mucílago, lavarlo y secarlo.
6. **Acreditación:** Reconocimiento otorgado a una entidad que actúa como organismo evaluador de la conformidad, es decir, que se dedica a realizar ensayos, calibraciones, inspecciones, certificaciones o verificaciones entre otras; de manera que se asegura que cumplan con los requisitos establecidos por ley o normas técnicas u otro tipo de documentos.
7. **Validación (VIM 2.45):** Verificación de que el método de medición se puede aplicar cumpliendo una serie de requisitos. Por ejemplo, el procedimiento que se utiliza para calibrar medidores de humedad de café verde, puede validarse para calibrar medidores de humedad de café pergamino seco.

El método a utilizar para la obtención de la muestra de referencia para la calibración de determinadores de humedad de café pergamino seco, se describe en la norma NTC 6102: Café verde. Procedimiento para la calibración de medidores de humedad. Método de rutina. Como lo establece el numeral 7.2.2.1 de la NTC-ISO/IEC 17025. Este método debe ser validado ya que se utiliza fuera del alcance del mismo, teniendo en cuenta las características de desempeño nombradas en la nota del numeral 7.2.2.3, que para este caso se considerarán la repetibilidad, la reproducibilidad y la veracidad.

## Metodología

La Norma Técnica Colombiana NTC 6102, en el anexo A “Preparación de la muestra de referencia y determinación del contenido de humedad como pérdida de fracción de masa” describe la metodología para elaborar la muestra de referencia para la calibración de medidores de humedad de café verde.

Para elaborar la muestra de referencia de este proyecto, se va a seguir y validar esta metodología empleando café pergamino seco (en lugar de café verde) y adaptada a las condiciones y recursos de Cenicafe.

### 1. Materiales

- Estufa eléctrica de convección forzada: que se pueda controlar  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y que tenga caracterización vigente. Se escoge la estufa de convección forzada MEMMERT con placa de inventario 10080082 de la disciplina de Suelos, la cual reporta uniformidad y estabilidad  $0.09\text{ }^{\circ}\text{C}$  y exactitud de  $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- Balanza analítica: con división de escala de 0,1 mg o mejor y certificado de calibración vigente. Se utilizará la balanza analítica METTLER TOLEDO inventario 10049016 del laboratorio de metrología, la cual tiene división de escala de 0.00001 g en el intervalo de 0.001 g a 61 g.
- Determinador de humedad electrónico: Con certificado de calibración vigente. Se utilizará el determinador de humedad KETT con inventario 10079763.
- Termohigrómetro: Para medir las condiciones ambientales durante el proceso; se utilizará el termohigrómetro FLUKE 971 inventario 10054926 del laboratorio de metrología de Cenicafé.
- Desecador: con desecante eficiente, por ejemplo, sulfato de calcio anhídrido o sílica gel.
- Café pergamino lavado
- Bolsas plásticas con cierre hermético.

- Bandejas para horno
- Cajas Petri vidrio 60 mm X 15 mm

## 2. Preparación de las muestras:

- 2.1. Seleccionar 2400 g de semilla, de dos especies de café (1200 g de cada una), con características físicas homogéneas, con una humedad entre 14 % fracción de masa y 16 % fracción de masa.
- 2.2. Separar la semilla de cada especie en tres bandejas para horno, cada uno con 400 g.
- 2.3. Colocar las muestras a temperatura de  $40\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; después del secado se debe marcar con  $\text{MR}_i$ .
- 2.4. Registrar los valores del tiempo de exposición.

*Tabla 2*

*Registro de horas de la muestra en horno*

<b>Muestra</b>	<b>% esperado</b>	<b>Tiempo en horno</b>
MR1	9	
MR2	12	
MR3	15	

- 2.5. Colocar cada MR por separado en una bolsa plástica hermética, cada bolsa marcada como  $\text{MR}_i$  y el valor de humedad. Almacenar en un desecador mínimo 72 h para permitir alcanzar una distribución homogénea de la humedad en cada MR.

## 3. Medición de humedad con el método Estufa:

- 3.1. Preparar las cajas Petri: Lavarlas con jabón neutro, secar con servilletas de papel y dejarlas en el horno a  $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  por 1 hora; luego, remover la caja y dejar enfriar a temperatura ambiente en un desecador por una hora.

**3.2.** Una vez estabilizadas las muestras y las cajas, marcar las cajas como O11, O12, O13,... O33; teniendo en cuenta que de cada MRi se sacan 3 muestras de 10 g.

**3.3.** Realizar las siguientes mediciones para cada Oij:

- a) Colocar la caja Petri sobre la balanza y registrar el peso indicado en la columna M0
- b) Tarar la balanza
- c) Colocar una muestra de café de aproximadamente 10 g, se recomienda que el primer decimal sea un cero (0). Registrar el peso indicado en la columna M1
- d) Guardar inmediatamente la caja con la muestra en el desecador.

**3.4.** Colocar las cajas con las muestras en el horno ajustado a 105 °C durante 16 h ± 0,5 h. (Se recomienda guardarlas en orden, para hacer más fácil las mediciones)

**3.5.** Pasado este tiempo, sacar inmediatamente la caja y colocarla en el desecador. Permitir que se enfríen hasta temperatura ambiente.

**3.6.** En cuanto alcance la temperatura ambiente, con la balanza medir la masa de la caja con la muestra y registrar los resultados en la columna M2.

La pérdida de masa, W, expresada como un porcentaje en masa, se estima con la fórmula 1:

$$W = \frac{M_1 - (M_2 - M_0)}{M_1} \times 100 \% \quad (1)$$

En donde

W = Pérdida de masa expresada en porcentaje de masa

M0 = masa en gramos del recipiente (caja Petri vacía)

M1 = masa en gramos, la muestra de ensayo antes del secado

M2 = masa en gramos, de la caja y la muestra de ensayo después de secar

**3.7.** Calcular el promedio y la desviación estándar de las tres muestras de cada MR y registrar el resultado.

Tabla 3

Registro de mediciones

Muestra de referencia	Caja	M0 (g)	M1 (g)	M2 (g)	W (%)	W promedio	S
MR 1	O <sub>11</sub>						
	O <sub>12</sub>						
	O <sub>13</sub>						
MR 2	O <sub>21</sub>						
	O <sub>22</sub>						
	O <sub>23</sub>						
MR 3	O <sub>31</sub>						
	O <sub>32</sub>						
	O <sub>33</sub>						

**3.8.** Desechar las muestras de ensayo en la caneca verde (residuos orgánicos). Lavar las cajas Petri con jabón neutro y secar con toallas de papel. Limpiar la balanza con la brocha dispuesta para ello.

**3.9.** Marcar las bolsas de MR con el valor obtenido de humedad y utilizarlas en el menor tiempo posible.

#### 4. Validación del método:

Los factores que influyen en el método son:

- La estufa
- La balanza
- El operario

Al tener solo una balanza y una estufa, estos dos factores quedan bloqueados, por lo que se va a evaluar la influencia del operario con diferentes valores de humedad y tipos de café empleado.

Se van a comparar también las mediciones de los operadores con un medidor electrónico, el cual será tomado como equipo patrón, siendo esta la referencia o valor a considerar como verdadero.

## Operadores

A: Alejandra López – Analista de Metrología

B: Gabriel Ortiz – Auxiliar de Mantenimiento

Los datos obtenidos experimentalmente se tratan de acuerdo a la Guía Técnica Colombiana GTC 131. Se utilizará el software RStudio

- Se revisa la existencia de valores atípicos con un diagrama de cajas empleando.
- Análisis de varianza: para evaluar las hipótesis planteadas. En caso de rechazar alguna de las hipótesis nulas, se evalúa por diagrama de cajas y bigotes cuál es el factor que causa rechazo.

## Resultados y discusión

### 1. Preparación de las muestras:

Se solicita a la disciplina de Experimentación el suministro de semilla para la ejecución de los ensayos requeridos; se reciben 3 kg de la variedad Castillo tambo con humedad inicial de 16,6 % y 3 kg de la variedad Cenicafe 1 con 15,8 % de humedad inicial.

*Figura 3*

*Semilla para ensayo*



De esta semilla, se toman muestras de aproximadamente 400 g y se distribuyen sobre bandejas de aluminio; para esto, primero se pesa la bandeja y se tara el peso indicado, luego se agrega la semilla.

*Figura 4*

*Distribución de la semilla en muestras de aproximadamente 400 g*



Estas bandejas se marcaron con las siguientes siglas:

- C1: Cenicafé 1
- CT: Castillo Tambo
- MRi: Muestra de referencia

Las muestras se colocaron en el horno de convección forzada programado a 40 °C:

*Figura 5*

*Secado de muestras en horno*



La mitad de las muestras de cada tipo de café se dejaron secando 8 horas para alcanzar un nivel de humedad alto, la otra mitad se dejó 22 horas para alcanzar un nivel de humedad bajo. Estas muestras se empaican en bolsas plásticas con cierre hermético, se marcan con la misma nomenclatura que las bandejas, y se guardan en un desecador por 72 horas:

*Figura 6*

*Muestras clasificadas*



*Figura 7*

*Muestras en el desecador*



## **2. Medición con método estufa:**

Se preparan 36 cajas Petri, lavándolas con jabón neutro, luego se secan con servilletas de papel y se introducen en el horno a programado 105 °C por 1 hora. Posteriormente se dejan enfriando una hora en el desecador:

*Figura 8*

*Secado de cajas en horno*

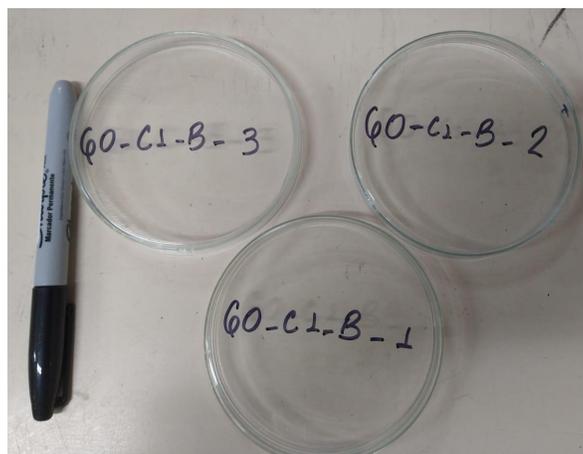


Luego de 1 hora, se marcaron las cajas con la siguiente nomenclatura:

Operario que realiza la medición	Variiedad de Semilla	Muestra de referencia (MR)	Repetición
AL o GO	CT o C1	A o B	1, 2 o 3

*Figura 9*

*Marcado de las cajas*



A cada caja se le mide el peso con la balanza, este valor se registra en la columna M0 de la tabla 5. Luego este peso se tara y se coloca una muestra de café de aproximadamente 10 g; este valor, con todos los decimales, se registra en la columna M1 de la tabla 5.

Luego de ejecutar cada medición, se guarda la caja con la muestra de café inmediatamente en el desecador.

*Figura 10*

*Medición de M0 y M1*



Al finalizar las mediciones, se llevan las cajas al horno programado a 105 °C durante 16 horas. Pasado este tiempo, se sacan las cajas usando una pinza para crisol y se introducen nuevamente en el desecador por 1 hora, permitiendo que alcancen la temperatura ambiente. Posteriormente, con la balanza se mide el peso de la caja con la muestra de café y se registran estos datos en la columna M2 de la tabla 5.

Figura 11

Medición de M2



Tabla 4

Registro de M0, M1 y M2

Operario	Tipo de semilla	Nivel humedad	M0 (g)	M1 (g)	M2 (g)
A. López	Cenicafé 1	Bajo	35.5168	10.0614	44.6087
A. López	Cenicafé 1	Bajo	41.4071	10.0175	50.4895
A. López	Cenicafé 1	Bajo	43.6053	10.0415	52.7137
A. López	Cenicafé 1	Alto	40.6792	10.055	49.4177
A. López	Cenicafé 1	Alto	43.6536	10.0253	52.3666
A. López	Cenicafé 1	Alto	45.3785	10.0805	54.1295
A. López	Castillo T.	Bajo	42.7348	10.0561	51.7784
A. López	Castillo T.	Bajo	43.4229	10.0947	52.4826
A. López	Castillo T.	Bajo	40.7755	10.038	49.8066
A. López	Castillo T.	Alto	44.9823	10.0028	53.5608
A. López	Castillo T.	Alto	42.4787	10.0113	51.0576
A. López	Castillo T.	Alto	44.4015	10.0578	53.0322
G. Ortiz	Cenicafé 1	Bajo	36.5902	10.0394	45.679
G. Ortiz	Cenicafé 1	Bajo	38.3962	10.0738	47.4977
G. Ortiz	Cenicafé 1	Bajo	43.6489	10.0521	52.7495
G. Ortiz	Cenicafé 1	Alto	43.6936	10.0986	52.4538
G. Ortiz	Cenicafé 1	Alto	36.1736	10.0616	44.907
G. Ortiz	Cenicafé 1	Alto	44.4622	10.0126	53.1725
G. Ortiz	Castillo T.	Bajo	42.7387	10.0759	51.7856

G. Ortiz	Castillo T.	Bajo	45.0089	10.0533	54.039
G. Ortiz	Castillo T.	Bajo	41.6882	10.0377	50.6986
G. Ortiz	Castillo T.	Alto	42.0755	10.019	50.6673
G. Ortiz	Castillo T.	Alto	44.1906	10.0528	52.8039
G. Ortiz	Castillo T.	Alto	42.5926	10.0967	51.2513

Una vez se tienen los datos, se calcula el porcentaje de pérdida de masa utilizando la fórmula 1; este valor se diligencia en la columna w de la tabla 6.

Con las tres mediciones por muestra, se calcula el promedio y se registra en la columna W de la tabla 6.

*Tabla 5*

*Cálculo de W*

<b>Marca Caja</b>	<b>w</b>	<b>W</b>
AL_C1_B_1	9.64	9.42
AL_C1_B_2	9.33	
AL_C1_B_3	9.29	
AL_C1_A_1	13.09	13.12
AL_C1_A_2	13.09	
AL_C1_A_3	13.19	
AL_CT_B_1	10.07	10.12
AL_CT_B_2	10.25	
AL_CT_B_3	10.03	
AL_CT_A_1	14.24	14.25
AL_CT_A_2	14.31	
AL_CT_A_3	14.19	
GO_C1_B_1	9.47	9.53
GO_C1_B_2	9.65	
GO_C1_B_3	9.47	
GO_C1_A_1	13.25	13.15
GO_C1_A_2	13.20	
GO_C1_A_3	13.01	

GO_CT_B_1	10.21	10.21
GO_CT_B_2	10.18	
GO_CT_B_3	10.23	
GO_CT_A_1	14.24	14.27
GO_CT_A_2	14.32	
GO_CT_A_3	14.24	

Finalmente, se mide la muestra de referencia con el determinador electrónico de humedad y se registra este valor en la columna K de la tabla 7.

Al estar calibrado con laboratorio acreditado, las medidas de este determinador electrónico se utilizarán como referencia para comparar las medidas de los operarios con el método estufa.

*Tabla 6*

*Cálculo de Registro de medidas con determinador electrónico de humedad*

<b>Marca Caja</b>	<b>Lectura</b>	<b>Corrección</b>	<b>K</b>
DEH_C1_B_1	9.2	9.57	9.57
DEH_C1_B_2	9.3	9.66	
DEH_C1_B_3	9.1	9.48	
DEH_C1_A_1	12.9	12.80	12.77
DEH_C1_A_2	12.8	12.72	
DEH_C1_A_3	12.9	12.8	
DEH_CT_B_1	10.10	10.38	10.38
DEH_CT_B_2	10.1	10.38	
DEH_CT_B_3	10.1	10.38	
DEH_CT_A_1	14.2	13.96	14.02
DEH_CT_A_2	14.3	14.05	
DEH_CT_A_3	14.3	14.05	

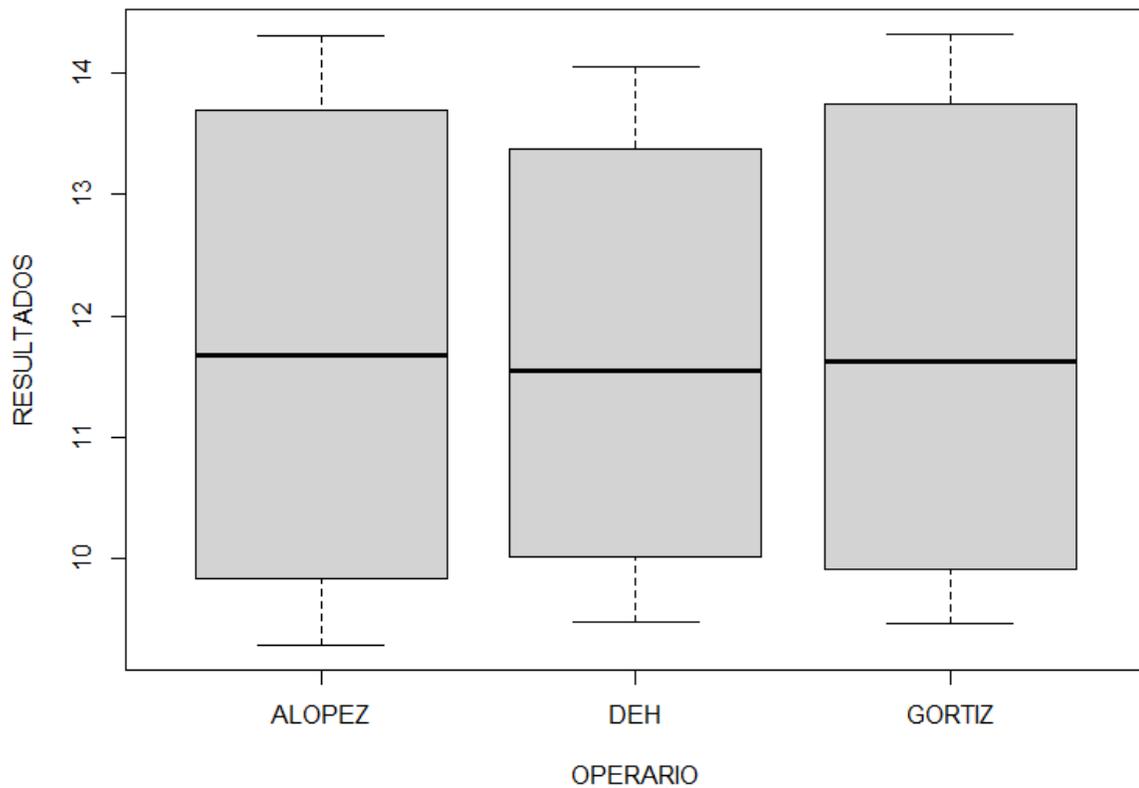
### 3. Tratamiento de los datos con el RStudio

Se pretende comparar si existen diferencias significativas entre las medidas realizadas por cada uno de los dos operarios empleando el método estufa y las medidas realizadas con el determinador electrónico de humedad, siendo este último el patrón de referencia.

3.1. Se realiza un diagrama de cajas y bigotes para cada uno de los operarios buscar datos atípicos. En la figura 12 se evidencia que no existen datos atípicos.

Figura 12

Diagrama de cajas y bigotes



3.2. Se realiza un análisis de varianza considerando las siguientes hipótesis:

H0: Las varianzas de las medidas tomadas por los operadores y el determinador electrónico son estadísticamente iguales, es decir, que el cambio de operador no afecta el resultado.

H1: las varianzas de las medidas tomadas por al menos uno de los operadores es estadísticamente diferente.

```
anova1<-aov(RESULTADOS~OPERARIO)
summary(anova1)
```

```
> anova1<-aov(RESULTADOS~OPERARIO)
> summary(anova1)
          Df Sum Sq Mean Sq F value Pr(>F)
OPERARIO    2  0.07   0.033   0.008  0.992
Residuals  33 134.10   4.064
> |
```

En el Análisis de varianza, el P valor es  $> 0.05$ , por lo cual se determina que el cambio de operario no afecta el resultado.

**3.3.** Se evalúa la normalidad de los datos con un test de Shapiro:

```
shapiro.test(datos$RESULTADOS)
```

```
> shapiro.test(datos$RESULTADOS)

      Shapiro-Wilk normality test

data:  datos$RESULTADOS
W = 0.82466, p-value = 5.234e-05
```

Se encuentra que los datos no provienen de una distribución normal ya que el P valor es  $< 0.05$  ( $5.234e-05$ )

**3.4.** Se evalúa la honocedasticidad de los datos con un test de Flinger:

```
library(car)
fligner.test(datos$RESULTADOS, datos$OPERARIO)
```

```
> fligner.test(datos$RESULTADOS, datos$OPERARIO)

      Fligner-Killeen test of homogeneity of variances

data:  datos$RESULTADOS and datos$OPERARIO
Fligner-Killeen:med chi-squared = 2.6389, df = 2, p-value = 0.2673
```

Se encuentra que existe homogeneidad de varianzas porque el P valor es  $> 0.05$  ( $0.2673$ )

3.5. Al no tener datos con distribución normal, se ejecuta la prueba no paramétrica de Kruskal:

```
# kruskal
kruskal.test(datos$RESULTADOS, datos$OPERARIO)

> # kruskal
> kruskal.test(datos$RESULTADOS, datos$OPERARIO)

      Kruskal-Wallis rank sum test

data:  datos$RESULTADOS and datos$OPERARIO
Kruskal-Wallis chi-squared = 0.091733, df = 2, p-value = 0.9552
```

El valor P es  $> 0.05$  (0.9552) por lo cual se determina que el cambio de operario no afecta el resultado.

3.6. Se ejecuta una prueba pos hoc para evaluar el efecto de cada operario y el resultado de la referencia:

```
# Post hoc
TukeyHSD(anova1)
> TukeyHSD(anova1)
  Tukey multiple comparisons of means
  95% family-wise confidence level

Fit: aov(formula = RESULTADOS ~ OPERARIO)

$OPERARIO
          diff      lwr      upr    p adj
DEH-ALOPEZ -0.04083333 -2.060235  1.978568 0.9986437
GORTIZ-ALOPEZ  0.06250000 -1.956901  2.081901 0.9968256
GORTIZ-DEH    0.10333333 -1.916068  2.122735 0.9913482
```

## Conclusiones

- Los resultados de la medición de humedad con el método estufa no dependen del tipo de semilla o del cambio de operario.
- La metodología empleada, para obtener la semilla de referencia para la calibración de determinadores de humedad de café verde, se puede aplicar para obtener la semilla de referencia para calibrar determinadores de humedad de café pergamino seco.
- El laboratorio de metrología de Cenicafé cuenta con los elementos necesarios para obtener un patrón de referencia que permita la calibración de los determinadores electrónicos de humedad.

## Referencias bibliográficas

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2017). *NTC-ISO-IEC 17025 Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración*. <https://tienda.icontec.org/sectores/servicios-organizacion-de-la-empresa-gestion-y-calidad-administracion-transporte-sociologia/calidad/certificacion-de-empresas-y-productos-evaluacion-de-la-conformidad/gp-requisitos-generales-para-la-competencia-de-los-laboratorios-de-ensayo-y-cal>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2015). *NTC 6102 Café verde. Procedimiento para la calibración de medidores de humedad. Método de rutina*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verde-procedimiento-para-la-calibracion-de-medidores-de-humedad-metodo-de-rutina-ntc6102-2015.html>
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2005). *NTC 2325 Café verde, determinación de la pérdida de masa a 105 °C*. <https://tienda.icontec.org/gp-cafe-verdedeterminacion-de-la-perdida-de-masa-a-105-c-ntc2325-2005.html>

Joint Committee for Guides in Metrology. (2012). *Vocabulario Internacional de metrología conceptos fundamentales y generales, y términos asociados* (3.<sup>a</sup> ed.). Centro Español de Metrología. [https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web\\_0.pdf](https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web_0.pdf)

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (2005). *GTC 131 Exactitud (veracidad y precisión) de los métodos y de los resultados de mediciones. Guía práctica para el uso de la NTC 3529-2 (ISO 5725-2) en el diseño, implementación y análisis estadístico de resultados*. <https://tienda.icontec.org/sectores/servicios-organizacion-de-la-empresa-gestion-y-calidad-administracion-transporte-sociologia/servicios/gp-exactitud-veracidad-y-precision-de-los-metodos-y-de-los-resultados-de-mediciones-guia-practica-para-el-uso-de-la-ntc-3529-2-iso-5725-2-en-el->

Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (1999). *NTC 3529-2 Exactitud - veracidad y precisión- de métodos de medición y resultados. Parte 2: Método básico para la determinación de repetibilidad y reproducibilidad en un método normalizado de medición*. <https://tienda.icontec.org/gp-exactitud--veracidad-y-precision--de-metodos-de-medicion-y-resultados-parte-2-metodo-basico-para-la-determinacion-de-repetibilidad-y-reproducibilidad-en-un-metodo-normalizado-de-medicion-ntc3529-2-1999.html>

Jimenez, R., & Mata, G. (1991). Calibración de equipos para medición del contenido de humedad del café (*Coffea arabica*). *Revista Agronomía Costarricense*, 15(1/2), 67-72. [https://www.mag.go.cr/rev\\_agr/v15n1-2\\_067.pdf](https://www.mag.go.cr/rev_agr/v15n1-2_067.pdf)



Universidad<sup>®</sup>  
Católica  
de Manizales

VIGILADA MINEDUCACIÓN

*Obra de Iglesia  
de la Congregación*



Hermanas de la Caridad  
*Dominicas de La Presentación*  
de la Santísima Virgen

*Universidad Católica de Manizales*  
Carrera 23 # 60-63 Av. Santander / Manizales - Colombia  
PBX (6) 8 93 30 50 - [www.ucm.edu.co](http://www.ucm.edu.co)