

Comparación interlaboratorio para medición de masa convencional en cinco laboratorios: aportes a la infraestructura de la calidad en Panamá y República Dominicana

Interlaboratory comparison for conventional mass measurement in five laboratories: contributions to the quality infrastructure in Panama and the Dominican Republic

Comparaçãõ interlaboratorial para mediçãõ de massa convencional em cinco laborat3rios: contribuiç3es para a infraestruturã de qualidade no Panam3 e na Rep3blica Dominicana

SAÚL GARCÍA (1)

DAVID SING (1)

MAGALYS D'OLEO (2)

EPIFANÍA DE ROTAR (3)

MARGARITA ABRAHAM (4)

JULIO DIMAS (5)

JOSÉ ALEJANDRO LÓPEZ (5)

(1) Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), Panamá.

(2) Laboratorio Nacional de Masas y Volumen del INDOCAL, República Dominicana.

(3) Laboratorio de Metrología Biomédica, PROMED, Panamá.

(4) Centro Experimental de Ingeniería (CEI), Universidad Tecnológica de Panamá (UTP), Panamá.

(5) Laboratorio de Calibración CALINHOUSE S.A., Panamá.

RECIBIDO: 25/7/2023 → APROBADO: 1/9/2023 ✉ sgarcia@cenamep.org.pa

RESUMEN

Este artículo describe los resultados de una comparación entre cinco laboratorios de metrología, ubicados en Panamá y República Dominicana, con mediciones realizadas desde julio hasta septiembre de 2022. La intercomparación tuvo como objetivo evaluar la capacidad de los laboratorios para calibrar patrones de masas de clase de exactitud F1, en el rango de 2 mg a 2 kg, así como de clase M1 de 20 kg, en concordancia con lo establecido en la Recomendación Internacional OIML R 111-1. Debido a que los participantes obtuvieron de manera consistente resultados satisfactorios, no fue necesario implementar acciones correctivas en los laboratorios participantes para la

mejora de sus procesos de calibración de patrones de masas. Con los resultados de este estudio se fortalece la confianza de la gestión técnica de los cinco laboratorios participantes y, en consecuencia, de la infraestructura nacional de la calidad.

Palabras clave: instrumento de pesar, magnitud mecánica, metrología, patrones de masa.

ABSTRACT

This article describes the results of a comparison between five metrology laboratories, located in Panama and the Dominican Republic, with measurements carried out from July to September 2022. The objective of the intercomparison was to evaluate the capacity of the laboratories to calibrate mass standards of class of accuracy F1, in the range from 2 mg to 2 kg, as well as class M1 of 20 kg, in accordance with the provisions of the International Recommendation OIML R 111-1. Because the participants consistently had satisfactory results, it was not necessary to implement corrective actions in the participating laboratories to improve their mass standard calibration processes. The results of this study strengthen the confidence of the technical management of the five participating laboratories and, consequently, of the national quality infrastructure.

Keywords: mass standard, mechanical quantity, metrology, weighing instrument.

RESUMO

Este artigo descreve os resultados de uma comparação entre cinco laboratórios de metrologia, localizados no Panamá e na República Dominicana, com medições realizadas de julho a setembro de 2022. O objetivo da intercomparação foi avaliar a capacidade dos laboratórios para calibrar padrões de massa de classe de precisão F1, na faixa de 2 mg a 2 kg, bem como classe M1 de 20 kg, de acordo com o disposto na Recomendação Internacional OIML R 111-1. Como os participantes obtiveram consistentemente resultados satisfatórios, não foi necessário implementar ações corretivas nos laboratórios participantes para melhorar seus processos de calibração de padrão de massa. Os resultados deste estudo reforçam a confiança da direção técnica dos cinco laboratórios participantes e, conseqüentemente, da infraestrutura nacional de qualidade.

Palavras-chave: instrumento de pesagem, metrologia, padrão de peso, quantidade mecânica.

INTRODUCCIÓN

Una de las magnitudes más comúnmente utilizadas en cualquier país es la masa. La mayor parte de las transacciones comerciales, los tratamientos médico-químicos y la fabricación de concretos, entre otros procesos, se valen del uso de instrumentos de pesar -como las balanzas y las básculas- para tazar o dosificar la masa requerida de un producto específico.

Garantizar el estado adecuado de estos instrumentos requiere de la intervención de los laboratorios de metrología. Dichos laboratorios, mediante la aplicación de métodos normalizados y con el uso de patrones de medición calibrados, determinan los errores de

estos instrumentos, junto con sus incertidumbres asociadas; y con esta información se verifica si son aptos o no para un determinado fin, en la industria, por ejemplo.

Contar con una herramienta objetiva que ayude a evaluar los procesos de calibración de estos laboratorios resulta de mucha importancia para el Estado, ya que estos procesos de calibración repercuten directamente en la salud y la seguridad de la población, la protección del medio ambiente, la calidad y la equidad en las transacciones comerciales.

En una infraestructura de la calidad (IC) que funciona adecuadamente, todos los actores claves interactúan entre sí para brindar confianza a la sociedad respecto de los distintos roles que cada una de las instituciones desempeña (Gonçalves et al., 2014). Dichas instituciones pueden ser las entidades regulatorias, los organismos evaluadores de la conformidad, las entidades de normalización y reglamentación técnica, los laboratorios de prueba y los laboratorios de calibración, entre otras.

El Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP), en su calidad de Laboratorio Nacional de Metrología y como uno de los actores claves de la IC, tiene entre sus funciones establecer comparaciones interlaboratorios para mejorar o evidenciar la competencia técnica de los laboratorios de calibración y ensayos, como lo señala el Ministerio de Comercio e Industrias, el MICI (Panamá, 2007).

Este artículo describe los resultados de una comparación realizada entre cinco laboratorios de metrología, ubicados en dos países y que se llevó a cabo desde julio hasta septiembre de 2022. El estudio tuvo como objetivo evaluar la capacidad de los laboratorios participantes para calibrar patrones de masas de clase de exactitud F (en el rango de 2 mg a 2 kg) y de clase M1 de 20 kg, acordes con lo establecido en la Recomendación Internacional OIML R 111-1 (International Organization of Legal Metrology, 2004).

Dentro de la IC de un país dado, este tipo de patrones son utilizados para calibrar, ajustar y/o verificar balanzas o básculas de tipo industrial o comercial, lo cual representa un amplio alcance en el rango de las mediciones a nivel nacional y regional.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sobre el protocolo de la comparación

Previo a realizar la comparación interlaboratorio fue necesario confeccionar su respectivo protocolo. Esto tuvo lugar entre los meses de febrero y junio del año 2022. El objetivo de este protocolo fue contar con un documento mutuamente acordado que sirviera como guía de trabajo para las actividades y aspectos técnicos más importantes de la comparación.

El protocolo fue realizado con la colaboración de los participantes y se incluyeron los siguientes tópicos: objetivo de la comparación, confidencialidad, costos de la participación, cronograma de actividades, periodo de inscripción, roles de los involucrados, información de contacto de los participantes, plan de medición de los participantes, procedimiento de embalaje y transporte, instrucciones respecto a la limpieza y manipulación de masas, método para el cálculo del valor de referencia, método de evaluación de desempeño de los participantes y, finalmente, plantillas para la declaración de los resultados. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes de este protocolo.

Objetivo de la comparación interlaboratorio: evaluar y mejorar los procesos de calibración de masa convencional de los laboratorios participantes.

Plan de medición: cada laboratorio escogió los valores nominales en los cuales podía participar, de acuerdo con sus propias capacidades de calibración instaladas. Este plan se presenta en la Tabla 1.

TABLA 1. Plan de medición de los laboratorios participantes.

Nombre del laboratorio	200 mg	1 g	50 g	200 g	1 kg	2 kg	20 kg
Centro Experimental de Ingeniería (CEI), Universidad Tecnológica de Panamá (UTP)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Laboratorio de Calibración, CALINHOUSE S.A.							✓
Laboratorio de Metrología Biomédica de PROMED	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Laboratorio Nacional de Masas y Volumen (República Dominicana)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Centro Nacional de Metrología de Panamá (CENAMEP AIP, laboratorio piloto)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Confidencialidad de los datos: los resultados se presentaron en un informe asignando códigos de una letra a cada participante de modo que solo el laboratorio piloto (el CENAMEP AIP) y el laboratorio participante conociesen la letra asignada. Las letras asignadas a cada participante fueron determinadas al azar. Para el valor nominal de 20 kg fue necesario asignar un nuevo juego de letras a cada participante, ya que había un participante que solo medía en dicho valor (Tabla 1). Esta codificación garantizó el anonimato de los resultados durante el desarrollo del proceso experimental.

Trazabilidad de las mediciones: para la calibración de los patrones viajeros en el rango de 2 mg a 2 kg, el CENAMEP AIP utilizó un juego de masas de clase E1 de 1 mg a 2 kg, marca Häfner (con código interno CMP-M1-100), el cual se calibra en el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), de Alemania, cada dos años. El patrón viajero de 20 kg fue calibrado con una masa de 20 kg de clase F1, marca Häfner (con código interno CMP-M1-118), el cual se calibra en el CENAMEP AIP cada año. Este patrón, a su vez, es calibrado con 20 masas de 1 kg, de clase E2 (con códigos internos consecutivos que van desde CMP-M1-124 a CMP-M1-143) y son enviados a calibrar al PTB de Alemania cada dos años.

Aseguramiento de la calidad de las mediciones: como parte del proceso de aseguramiento de la calidad de los datos de referencia, el laboratorio piloto realizó mediciones de estabilidad a los patrones de masas de la comparación (patrones viajeros) para verificar su aptitud. Esta evaluación se realizó durante 30 días, a partir del 1 de marzo del año 2022.

Además, se realizaron mediciones al inicio de la comparación, antes de la salida de los patrones viajeros hacia República Dominicana y al retorno de los patrones desde dicho país hacia Panamá. Por último, se verificó que los resultados fueran consistentes entre sí dentro de las incertidumbres declaradas por el laboratorio piloto.

Laboratorios participantes, patrones viajeros y su cronograma

Los cinco laboratorios participantes se presentaron en la Tabla 1. El CENAMEP AIP organizó y coordinó las actividades de la comparación en Panamá y República Dominicana, así como también proporcionó los patrones viajeros y sus valores de referencia. Las restantes entidades fungieron como laboratorios participantes.

Para la comparación se utilizó un conjunto de siete patrones de masa, de marca Häfner, cuya información más relevante se muestra en la Tabla 2. Esta información fue proporcionada a todos los laboratorios participantes en el protocolo de la comparación, con el objetivo de que se contara con toda la información requerida para el cálculo de los resultados acordes con el método de calibración.

TABLA 2. Información de los patrones viajeros.

Valor nominal	Clase ⁽¹⁾	Estabilidad encontrada	Densidad (kg/m ³)	Material	U (ρ) ⁽²⁾ (kg/m ³)	U (k=2) ⁽³⁾ (mg)
200 mg	E2	< 0.006 mg	7 950	Acero inoxidable	140	0.020
1 g	E2	< 0.010 mg	7 950	Acero inoxidable	140	0.03
50 g	E2	< 0.030 mg	7 950	Acero inoxidable	140	0.1
200 g	E2	< 0.10 mg	7 950	Acero inoxidable	140	0.3
1 kg	E2	< 0.5 mg	7 950	Acero inoxidable	140	1.6
2 kg	E2	< 1.0 mg	7 950	Acero inoxidable	140	3.0
20 kg	M1	< 100 mg	7 200	Hierro fundido	600	300

⁽¹⁾ Clase de exactitud declarada por el fabricante de las masas.

⁽²⁾ Incertidumbre expandida de la densidad con $k = 2$.

⁽³⁾ Incertidumbre expandida del valor de referencia con $k = 2$. Para los valores nominales de 200 mg a 2 kg, la incertidumbre declarada del valor de referencia corresponde a la incertidumbre de calibración declarada por CENAMEP AIP en el Apéndice C (Capacidades de Medición y Calibración, incertidumbres para masas F1) del MRA, BIPM.

Los valores declarados en la columna "Estabilidad encontrada" representan el máximo de estabilidad que se considera aceptable para la clase de exactitud de los patrones viajeros (aproximadamente 1/3 de la tolerancia de la clase). Adicionalmente, la incertidumbre declarada en el rango de 2 mg a 2 kg (Tabla 2), es la incertidumbre que el laboratorio piloto tiene reconocida en el Buró Internacional de Pesos y Medidas (BIPM). Esta incertidumbre se puede considerar apropiada para calibrar masas de clase F1 en el rango indicado. Para la masa de 20 kg, se declaró una incertidumbre de aproximadamente 1/3 de la tolerancia de la clase M1, tal como se había indicado en el protocolo de la comparación.

Es importante remarcar que este ejercicio de comparación no puede demostrar concordancia de las mediciones con los valores de referencia para incertidumbres más bajas que las declaradas para los valores de referencia. Esto principalmente debido a que

cualquier error de medición por parte de los participantes quedaría cubierto en vista de la incertidumbre relativamente alta de los valores de referencia.

Finalmente, los patrones viajeros se circularon entre los laboratorios participantes de acuerdo con el cronograma de medición presentado en la Tabla 3.

TABLA 3. Cronograma del desarrollo de las mediciones en los cinco laboratorios.

Descripción de la actividad	Fecha inicial	Fecha final
Medición inicial por parte del CENAMEP AIP	2022-07-11	2022-07-15
Medición en el Laboratorio de Metrología Biomédica (PROMED)	2022-07-29	2022-08-06
Medición en el Laboratorio CEI de la UTP	2022-08-08	2022-08-15
Medición en CALINHOUSE S.A.	2022-08-16	2022-08-19
Medición en el CENAMEP AIP ⁽¹⁾	2022-08-22	2022-08-29
Medición en el Laboratorio Nacional de Masas y Volumen (República Dominicana)	2022-09-02	2022-09-11
Medición en el CENAMEP AIP (cierre de mediciones)	2022-09-17	2022-09-19

⁽¹⁾ Se incluye una medición a los patrones viajeros previo al envío a República Dominicana, para disponer de información del estado de las masas antes de la salida al nivel internacional, y así no generar riesgo en el ejercicio de comparación. Esta medición no fue utilizada para el cálculo del valor de referencia.

Procedimientos utilizados

A continuación, se describen los procedimientos utilizados en la comparación en cinco laboratorios, ubicados en dos países.

Recepción: el CENAMEP AIP entregó los patrones viajeros a cada participante de acuerdo con el cronograma de medición indicado en la Tabla 3. Cada participante recibió y revisó los patrones viajeros, lo que fue registrado acorde con lo establecido en el protocolo de medición. No se registraron incidentes remarcables sobre los patrones viajeros que pudieran afectar los valores de referencia durante el ejercicio de comparación.

Medición: cada laboratorio participante determinó la masa convencional de los patrones viajeros utilizando sus propias instalaciones y procedimientos de medición. Se solicitó en el protocolo de medición que los participantes hicieran el cálculo de empuje del aire y que para ello utilizaran la densidad indicada en la Tabla 2, para cada masa en estudio. La limpieza de las masas se hizo solamente con pincel o con paño seco.

Valor de referencia: los valores de masa fueron medidos por el CENAMEP AIP antes del inicio de la comparación y al final de ésta, con el objetivo de verificar su estabilidad durante el ejercicio y así determinar un valor de referencia. No se observaron desvíos apreciables (en relación con la incertidumbre de los valores de referencia declarados para

cada masa), que requiriesen aplicar corrección por deriva de los patrones viajeros. En este sentido, el valor de referencia fue calculado utilizando el promedio de ambas mediciones:

$$m_{ref} = \frac{(m_1 + m_2)}{2} \quad (1)$$

Donde:

m_1 y m_2 son las mediciones iniciales y finales realizadas a cada patrón viajero.

Evaluación de desempeño: la evaluación de desempeño se realizó utilizando el error normalizado (E_n), el cual fue calculado de acuerdo con la ecuación (Efron y Tibshirani, 1993):

$$E_n = \frac{(m_A - m_{ref})}{\sqrt{(U_A^2 + U_{ref}^2 + U_d^2)}} \quad (2)$$

Donde:

m_A y U_A son el valor de masa convencional y la incertidumbre expandida declaradas por el participante.

m_{ref} y U_{ref} son el valor de referencia y la incertidumbre expandida asociada con el valor de referencia.

Por su parte, la incertidumbre U_d debido a la deriva de la masa se tomó en cuenta tal como se describe en la siguiente ecuación JCGM 100:2008 (Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG1), 2008):

$$U_d = k \sqrt{\left(\frac{m_2 - m_1}{2\sqrt{3}}\right)^2} \quad (3)$$

Donde:

k es el factor de cobertura = 2.

m_1 es el valor de referencia medido inicialmente.

m_2 es el valor de referencia medido al final del proceso.

Cabe indicar que se operó bajo el supuesto de que U_d tiene una distribución uniforme y que los valores iniciales y finales representan el valor máximo y mínimo de dicha distribución. Finalmente, el error normalizado fue utilizado como indicador de aptitud para cada laboratorio participante, utilizando los siguientes criterios:

Resultados satisfactorios: si $-1 \leq E_n \leq 1$.

Resultados no satisfactorios: si $-1 > E_n > 1$.

RESULTADOS

Resultados de las comparaciones

Cada laboratorio participante en este estudio calculó la masa convencional de los patrones viajeros y los reportó con su respectiva incertidumbre, de acuerdo con sus propios procedimientos de medición, el plan de medición y el cronograma establecido en el protocolo de la comparación.

En las Tablas 4 a la 10 se muestran los desvíos de masa convencional de los patrones viajeros respecto de sus valores nominales. Estas tablas fueron calculadas a partir del valor de masa convencional reportada por cada uno de los laboratorios participantes. En las columnas tituladas como "Valor de referencia" y "Valor del laboratorio" las fórmulas indicadas en la respectiva celda tienen el siguiente significado:

m_{PL} : valor convencional de masa reportado por el laboratorio piloto.

m_n : valor nominal del patrón viajero.

m_i : valor de masa convencional reportado por el laboratorio participante.

TABLA 4. Resultados de la comparación en la masa de 200 mg.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	U (k = 2) (mg)
REF1		-0.092	0.020
C	-0.091	-0.095	0.010
K	-0.091	-0.093	0.008
M	-0.091	-0.095	0.003
REF2		-0.091	0.020

TABLA 5. Resultados de la comparación en la masa de 1 g.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	U (k = 2) (mg)
REF1		-0.785	0.030
C	-0.784	-0.790	0.016
K	-0.784	-0.786	0.010
M	-0.784	-0.790	0.004
REF2		-0.784	0.030

TABLA 6. Resultados de la comparación en la masa de 50 g.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	U (k = 2) (mg)
REF1		-2.611	0.10
C	-2.611	-2.638	0.05
K	-2.611	-2.619	0.03
M	-2.611	-2.600	0.01
REF2		-2.610	0.10

TABLA 7. Resultados de la comparación en la masa de 200 g.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	U (k = 2) (mg)
REF1		-3.503	0.30
C	-3.506	-3.787	0.18
K	-3.506	-3.233	0.38
M	-3.506	-3.500	0.06
REF2		-3.509	0.30

TABLA 8. Resultados de la comparación en la masa de 1 kg.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	U (k = 2) (mg)
REF1		-8.663	1.60
C	-8.512	-9.500	0.82
K	-8.512	-8.157	0.97
M	-8.512	-8.500	0.33
REF2		-8.361	1.60

TABLA 9. Resultados de la comparación en la masa de 2 kg.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	$U (k = 2)$ (mg)
REF1		-14.853	3.00
C	-14.761	-15.700	1.62
K	-14.761	-14.816	1.49
M	-14.761	-14.000	0.39
REF2		-14.670	3.00

TABLA 10. Resultados de la comparación en la masa de 20 kg.

Código del laboratorio	Valor de referencia	Valor del laboratorio	Incertidumbre del laboratorio
	$m_{PL} - m_n$ (mg)	$m_i - m_n$ (mg)	$U (k = 2)$ (mg)
REF1		218	300
F	242.608	320	262
I	242.608	262	100
O	242.608	255	19
REF2		267	300

Los valores indicados como REF1 y REF2 son los valores reportados respectivamente por el laboratorio piloto en la medición inicial y final de la comparación. Como se puede observar, las diferencias entre REF1 y REF2 son menores a las incertidumbres del valor de referencia reportado y confirman la estabilidad requerida de las masas.

Por otro lado, las Figuras 1 a la 7 se construyeron en este estudio para observar la relación existente entre los valores reportados con sus incertidumbres (identificados mediante letras) y los valores de referencia (identificados con los caracteres "REF"), en cada una de las comparaciones de los laboratorios participantes.

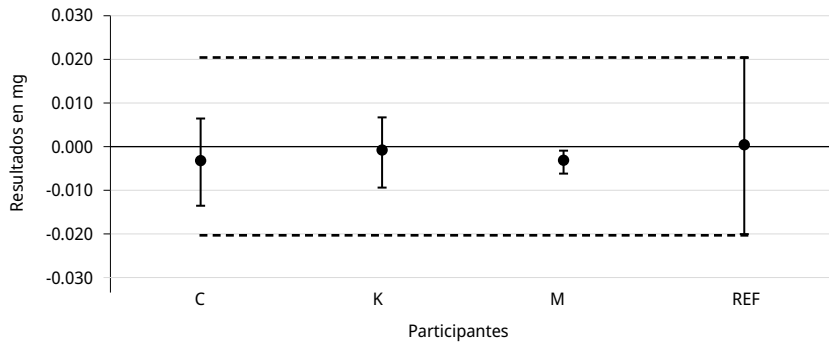


FIGURA 1. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 200 mg.

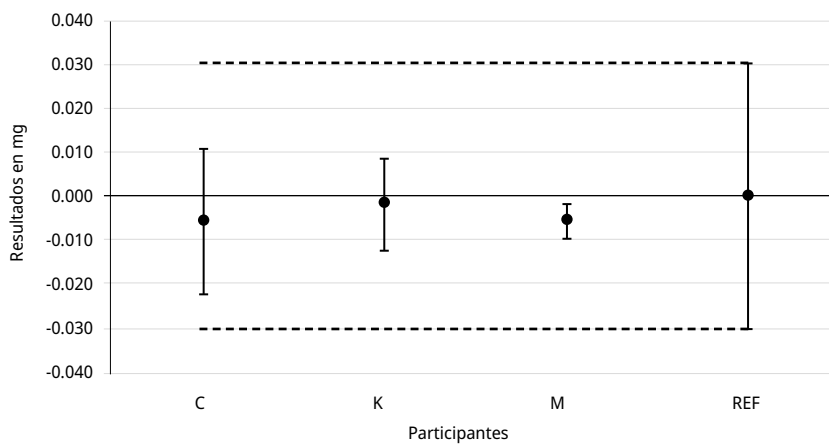


FIGURA 2. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 1 g.

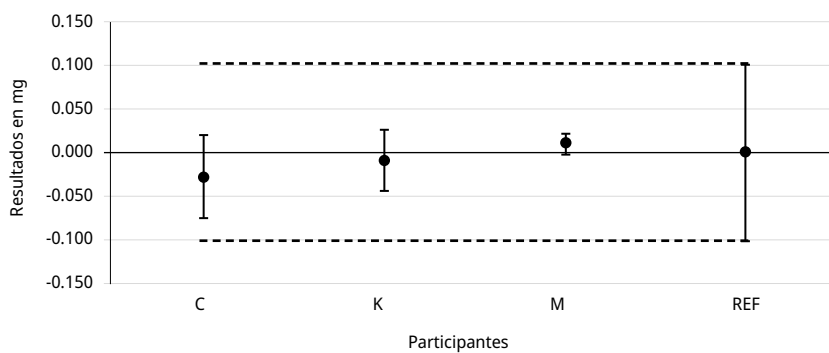


FIGURA 3. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 50 g.

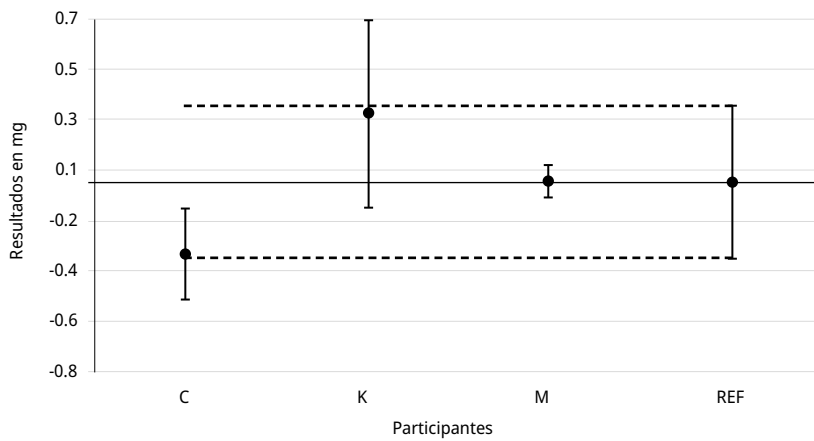


FIGURA 4. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 200 g.

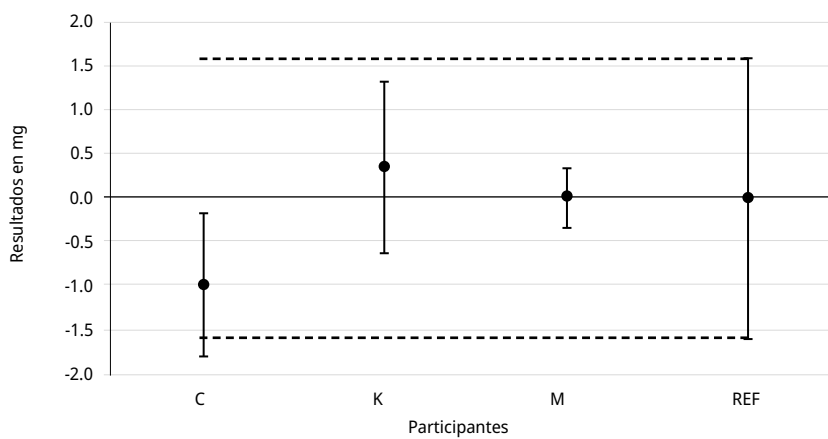


FIGURA 5. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 1 kg.

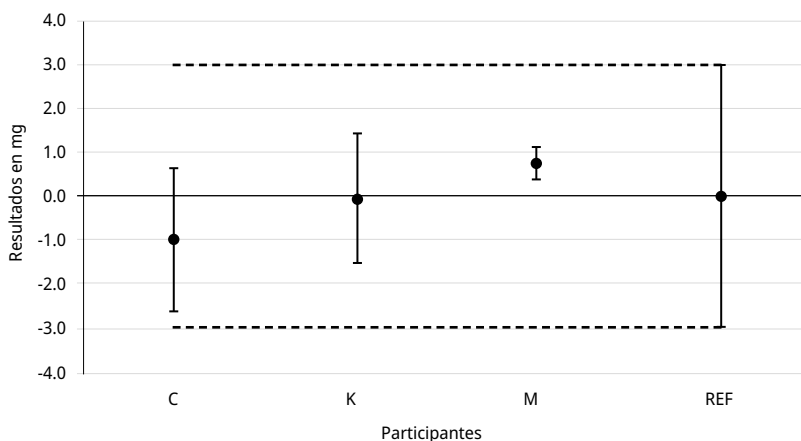


FIGURA 6. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 2 kg.

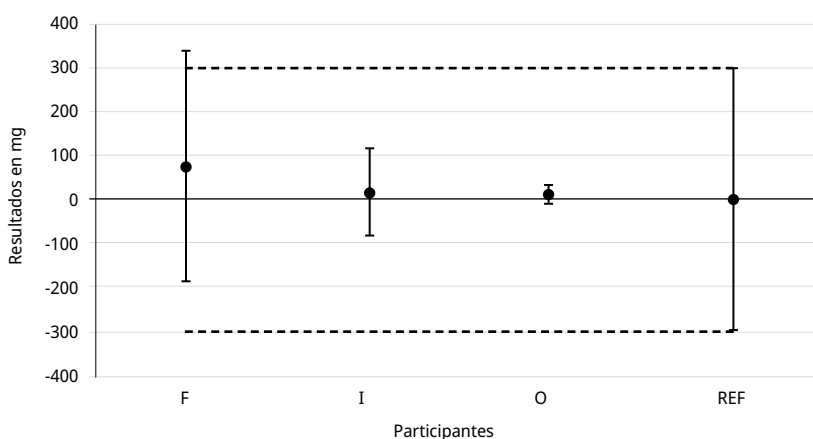


FIGURA 7. Diferencias entre el valor de referencia y los laboratorios participantes para la masa de 20 kg.

DISCUSIÓN

En las Figuras 1 a la 7 es posible observar que todos los resultados reportados por los participantes caen dentro del área delimitada por las líneas discontinuas de los valores de referencia. Esto implica que en esta comparación interlaboratorios realizada en los dos países se observa consistencia entre todos los valores reportados por los participantes y los valores registrados por el laboratorio piloto.

De manera complementaria, como herramienta para analizar el desempeño o la aptitud de los participantes se estableció en el protocolo el uso del error normalizado (E_n). En este sentido, en las Tablas 11 y 12 se presenta el E_n calculado para cada valor nominal, por cada participante.

TABLA 11. Desempeño de los laboratorios participantes en los valores nominales de 200 mg a 2 kg.

Valor nominal	Error normalizado (E_n)		
	C	K	M
200 mg	-0.16	-0.07	-0.17
1 g	-0.16	-0.05	-0.18
50 g	-0.25	-0.08	0.10
200 g	-0.80	0.57	0.02
1 kg	-0.55	0.19	0.01
2 kg	-0.28	-0.02	0.25

TABLA 12. Desempeño de los laboratorios participantes en los valores nominales de 20 kg.

Valor nominal	Error normalizado (E_n)		
	F	I	O
20 kg	0.19	0.06	0.04

En la Tabla 11 se muestra que los participantes, indicados con las letras C, K y M, presentan un E_n entre -1 y 1, lo que es indicativo de consistencia con los valores de referencia para los valores nominales de 200 mg a 2 kg. De igual forma, en la Tabla 12 se muestra que los participantes, indicados con las letras F, I y O presentan un E_n entre -1 y 1, lo que es indicativo nuevamente de la consistencia con el valor de referencia en 20 kg. Ambos métodos, el método gráfico y el E_n , son consistentes entre sí y dan muestras de la aptitud de los laboratorios participantes en los valores reportados en esta intercomparación realizada en Panamá y República Dominicana.

CONCLUSIONES

Debido a que los participantes tuvieron un $E_n < 1$ (menores a 0.8 en la mayoría de los casos), no fue necesario establecer acciones correctivas de parte de los participantes para la mejora de los procesos de calibración de patrones de masas en sus respectivos laboratorios.

Los resultados de esta comparación se fundamentan en el cálculo de los valores de referencia y sus incertidumbres asociadas. Actualmente, el CENAMEP AIP tiene reconocimiento internacional de sus capacidades de calibración de masas en el rango de 1 mg a 2 kg, para incertidumbres de calibración de masas F1. Este reconocimiento internacional le da mucha confianza al ejercicio de comparación en el rango indicado. Contar con este reconocimiento internacional para calibraciones de masas de valor

nominal iguales o mayores de 20 kg fortalecería la gestión del CENAMEP AIP en este tipo de ejercicios.

Por otro lado, también se desprende de este ejercicio la necesidad de mejorar las incertidumbres de calibración de masa en el rango de 1 mg a 20 kg, ya que en la comparación se pudo observar que las incertidumbres de medición reportadas por los participantes eran menores a las reportadas por el laboratorio de referencia. Si estos laboratorios participantes quisiesen evaluar su capacidad de medición al nivel de las incertidumbres reportadas, con las incertidumbres reconocidas del laboratorio de referencia, actualmente no se podría hacer. Esto abre opciones importantes para colaboración y trabajo a futuro.

Con el desarrollo de este tipo de estudios colaborativos, el CENAMEP AIP apunta permanentemente al fortalecimiento de sus programas de comparaciones interlaboratorios, y así lograr cumplir con los requisitos solicitados por la Norma Internacional ISO/IEC 17043 (International Organization for Standardization, 2023). En el desarrollo de estos estudios, sin duda, el centro se consolidará como un proveedor de ensayos de aptitud confiable y reconocido por los organismos de acreditación y otras partes interesadas, tanto del país como de la región.

Finalmente, con los resultados obtenidos en esta comparación interlaboratorio, todos los laboratorios participantes, en su rol de proveedores de trazabilidad, se ven fortalecidos al contar con evidencia de sus capacidades de calibración en masas, las cuales son utilizadas en un sinnúmero de servicios que impactan positivamente en toda la infraestructura de la calidad y, en general, en la sociedad.

AGRADECIMIENTOS

Los autores desean expresar su agradecimiento a sus respectivos laboratorios, autoridades y entidades en Panamá (CALINHOUSE S.A., CENAMEP AIP, PROMED y UTP) y en República Dominicana (INDOCAL), por facilitar los recursos de trabajo para la conducción de las comparaciones.

El Laboratorio Nacional de Masa y Volumen del Instituto Dominicano para la Calidad (INDOCAL), agradece al personal del CENAMEP AIP, por el soporte técnico durante los procesos de la comparación interlaboratorio. Se agradece también, y de manera especial, el apoyo del INDOCAL, en las manos de Lorenzo Ramírez (director general), Rubén Neris (director de metrología) y los técnicos de laboratorio Natanael Bello y Jessel Gerardo.

Por su parte, el Laboratorio de Metrología de la Universidad Tecnológica de Panamá (UTP) desea agradecer a todas sus autoridades y al personal de administración por brindar el apoyo para formar parte de este ensayo, que resalta la importancia de las intercomparaciones para garantizar la confiabilidad de las mediciones obtenidas en nuestras instalaciones a nivel nacional y regional.

Se agradece también al Dr. Jaime Estrella E. (ORCID 0000-0002-8020-2184), de la Coordinación de I+D+i del CENAMEP AIP, por realizar la asesoría para la concepción y diseño de este artículo científico y por sus aportes de edición a todo el manuscrito inicial.

REFERENCIAS

- Efron, B. y Tibshirani, R., 1993. *An introduction to the bootstrap*. Londres: Chapman & Hall/CRC.
- Gonçalves, J., Göthner K. y Rovira, S., eds., 2014. *Midiendo el impacto de la infraestructura de la calidad en América Latina: experiencias, alcances y limitaciones*. [En línea]. Santiago de Chile: CEPAL, GIZ y PTB. 192 p. [Consulta: 15 de mayo de 2023]. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/36634/S2014154_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- International Organization of Legal Metrology (OIML), 2004. *International Recommendation OIML R 111-1. Weights of classes E_1 , E_2 , F_1 , F_2 , M_1 , M_{1-2} , M_2 , M_{2-3} and M_3 . Part 1: Metrological and technical requirements* [En línea]. Ed 2004 (E). Paris: OIML. [Consulta: 15 de mayo de 2023]. Disponible en: https://www.oiml.org/en/files/pdf_r/r111-1-e04.pdf.
- International Organization for Standardization, 2023. *ISO/IEC 17043: Conformity assessment — General requirements for the competence of proficiency testing providers*. Ginebra: ISO.
- Joint Committee for Guides in Metrology (JCGM/WG1), 2008. *JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data - Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Sèvres Cedex: JCGM. 134 p.
- Panamá. Ley No. 52, de 11 de diciembre de 2007. Que regula las actividades metrológicas en la República de Panamá. *Gaceta Oficial Digital* [En línea], miércoles 19 de diciembre de 2007, No. 25943. [Consulta: 15 de mayo de 2023]. Disponible en: <https://www.gacetaoficial.gob.pa/pdfTemp/25943/8093.pdf>.