

# Calibración de equipos de laboratorio en entornos universitarios: estrechando la brecha en materia de gestión metrológica

## Calibration of laboratory equipment in university environments: narrowing the gap in terms of metrological management

Manfred Murrell-Blanco<sup>1</sup>, Ernesto Montero-Sánchez<sup>2</sup>, Sherryl Campos-Morales<sup>3</sup>, Ligia Bermúdez-Hidalgo<sup>4</sup>, Karla Vetrani-Chavarría<sup>5</sup>

*Fecha de recepción: 21 de julio, 2022*

*Fecha de aprobación: 18 de octubre, 2022*

Calibración de equipos de laboratorio en entornos universitarios: estrechando la brecha en materia de gestión metrológica. *Tecnología en Marcha*. Vol. 36, N° 3. Julio-Setiembre, 2023. Pág. 24-33.

 <https://doi.org/10.18845/tm.v36i3.6316>

- 1 Académico de la Universidad Nacional. Costa Rica.  
Correo electrónico: manfred.murrell.blanco@una.ac.cr  
 <https://orcid.org/0000-0002-7229-1981>
- 2 Académico de la Universidad Nacional. Costa Rica.  
Correo electrónico: ernesto.montero.sanchez@una.ac.cr  
 <https://orcid.org/0000-0002-9961-6184>
- 3 Académica de la Universidad Nacional. Costa Rica.  
Correo electrónico: sherryl.campos.morales@una.ac.cr  
 <https://orcid.org/0000-0002-3852-9490>
- 4 Académica de la Universidad Nacional. Costa Rica.  
Correo electrónico: ligia.bermudez.hidalgo@una.ac.cr  
 <https://orcid.org/0000-0124-9542-3214>
- 5 Académica de la Universidad Nacional. Costa Rica.  
Correo electrónico: karla.vetrani.chavarria@una.ac.cr  
 <https://orcid.org/0000-0002-7257-931X>

## Palabras clave

Calibración; equipo e instrumentos de laboratorio; gestión metrológica, medición; personal de laboratorio.

## Resumen

En los laboratorios universitarios se generan datos que nutren las actividades de investigación y docencia; además, brindan soporte a diferentes sectores productivos y en algunos casos suministran información para la toma de decisiones con alcance legal. Por lo tanto, es necesario asegurar la calidad de sus resultados mediante la implementación de acciones tendientes al mejoramiento de sus mediciones; este sentido, el objetivo de este estudio fue desarrollar una estrategia para la calibración de equipos y cristalería de laboratorio de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA) con el fin de disminuir la brecha en materia de gestión metrológica. Entre los hallazgos más relevantes están que los laboratorios universitarios cuentan con poco o nulo presupuesto para la gestión metrológica de sus mediciones, lo que dificulta atender requerimientos como la calibración de equipos y la capacitación de personal. Además, dependen administrativamente de otras instancias universitarias como escuelas e institutos, lo que limita su capacidad de respuesta en materia de oferta de servicios a usuarios externos. En el caso específico de la UNA, se han realizado inversiones importantes en equipamiento y capacitación de personal. Sin embargo, no se han logrado abarcar todas las necesidades de trazabilidad de los laboratorios, lo que impide la completa gestión de la calidad de los resultados. Este estudio ha identificado mecanismos para que los laboratorios cuenten con mediciones trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), aumentando la confianza en sus resultados, permitiendo la detección de problemas e inclusive disminuyendo la presión económica por el rubro de calibraciones.

## Keywords

Calibration; laboratory equipment and instruments; metrological management laboratory staff.

## Abstract

In university laboratories, data is generated that feeds research and teaching activities. In addition, they support different productive sectors and, in some cases, provide information for decision-making with legal scope. Therefore, it is necessary to ensure the quality of its results by implementing actions to improve measures. In this sense, the objective of this study was to develop a strategy for calibrating laboratory equipment and glassware at the National University of Costa Rica (UNA) to reduce the gap in metrological management. Among the most relevant results are that university laboratories have little or no budget for their measurements' metrological management, making it challenging to meet needs such as equipment calibration and staff training. In addition, it depends administratively on other university entities such as schools and institutes, which limits its response capacity in terms of offering services to external users. In the case of the UNA, significant investments have been made in equipment and personnel training. However, not all traceability needs have been covered, which prevents the complete management of the quality of the results. This study has identified mechanisms for laboratories to have traceability to the International System of Units (SI), increasing confidence in their results, improving the detection of problems, and even reducing economic pressure on the calibration item.

## Introducción

Las universidades son instituciones de educación superior que interactúan en forma directa con la sociedad [1]. Esta relación se materializa a través de la formación de profesionales, la producción de conocimiento, el desarrollo de innovaciones destinadas a mejorar la calidad de vida de la población y también mediante la ejecución de proyectos de investigación y desarrollo (I+D) dirigidos a los diferentes sectores productivos [2] [3]. Además, las actividades destinadas a la obtención de resultados (mediante procedimientos de calibración, ensayo, desarrollo de nuevos protocolos, entre otros) son parte fundamental de esas interacciones [4].

En este sentido, la existencia de laboratorios dentro de las universidades ha demostrado ser un elemento fundamental para sustentar la relación universidad, empresa y sociedad. Al respecto [6] señalan que los usuarios internos de estos laboratorios son los estudiantes, profesores e investigadores; mientras que los externos son instituciones estatales, municipalidades, organizaciones privadas, miembros de las comunidades y otras organizaciones que desarrollan programas y proyectos con impacto socio-económico.

Según [7], más de la mitad de los laboratorios universitarios realizan actividades distintas a la docencia e investigación, tales como consultorías, talleres y capacitación sobre temas de su competencia. En este sentido, [8] mencionan que la globalización ha cambiado el paradigma de la educación superior, y que lo que originalmente se realizaba dentro de un solo país, pasó a ser una competencia en el ámbito mundial. Por lo tanto, las universidades y en especial sus laboratorios están obligados a mejorar la calidad de sus resultados y de su oferta de servicios para sobrevivir y competir globalmente.

En la misma línea, [5] [9] indican que los laboratorios que brindan servicios a organizaciones externas deben implementar procedimientos de ensayo y calibración en el marco de buenas prácticas y de normas internacionales que aseguren la obtención de datos confiables para la satisfacción de las necesidades de los clientes.

Sobre este participar, es importante mencionar que los sistemas de gestión de las mediciones forman parte de las estrategias para el logro de mejores resultados [10], y lo que buscan es garantizar el buen funcionamiento de los equipos requeridos por el área específica, atendiendo los requisitos legales vigentes por medio de actividades de mantenimiento preventivo, correctivo y la calibración de equipos.

Al respecto, [11] [12] [13] [14] [15] concluyen que son varios los beneficios que se pueden obtener al incorporar estas prácticas en los laboratorios; por ejemplo: la capacidad de producir resultados consistentes, una mejor gestión de los recursos, la capacidad de demostrar que se han seguido los requisitos técnicos, y una mayor competitividad en el mercado mediante una mejor consistencia de los productos, servicios y procesos.

Sin embargo, en el caso de los laboratorios universitarios, la implementación de estos sistemas es más compleja, ya que éstos están enfocados en varias actividades prioritarias que compiten entre sí, tal es el caso de la investigación y la docencia [1] [3]. Además, [16] mencionan que existe una delegación poco clara de funciones y responsabilidades, alta rotación de personal, falta de recursos económicos y de experiencia sobre los procedimientos para lograr una adecuada gestión metrológica. Sobre las restricciones financieras, [17] indica que esto deriva del alto costo de calibrar los equipos, cumplir con las condiciones ambientales, capacitar al personal, entre otros.

Por su parte, [7] reportan una serie de acciones que han sido poco estudiadas y que los laboratorios utilizan para enfrentar los problemas financieros relacionados con la implementación de sistemas para la mejora de la calidad. Entre estas actuaciones están: la utilización de recursos propios, el financiamiento mediante proyectos de investigación, extensión u otro tipo de

fuentes, la búsqueda de nuevos clientes y mercados y la oferta de servicios como consultorías y capacitación. En este sentido, varios laboratorios agregan el control, optimización o reubicación de recursos como alternativa viable para atender la falta de capacidad económica requerida para enfrentar los costos asociados a la calidad.

En consecuencia, el objetivo de este estudio fue el desarrollo de una estrategia para la calibración de equipos y cristalería en los laboratorios de la Universidad Nacional de Costa Rica (UNA), para el fortalecimiento de la calidad de los resultados de investigación, docencia y de vínculo externo remunerado (venta de servicios).

## Metodología

La adecuada gestión de las mediciones es un componente esencial para promover la innovación, el crecimiento, el bienestar y el desarrollo de una sociedad [21]. En este sentido, se debe poner especial atención a la forma en que los laboratorios universitarios abordan temas como magnitudes, unidades de medida, errores e incertidumbres, instrumentos y patrones de medida, calibración, trazabilidad e infraestructura metrológica [16].

Por esta razón, el Programa de Estudios en Calidad, Ambiente y Metrología (PROCAME) de la UNA, ejecutó del 2012 al 2020 un proyecto de investigación con los laboratorios universitarios interesados en: la calibración de equipos y cristalería; la consolidación de una base de datos con los resultados del proceso de calibración; el desarrollo de una cultura en materia de gestión metrológica.

El PROCAME es un programa dirigido al fomento y desarrollo de una cultura ambiental, metrológica y de calidad en Costa Rica, en cooperación con otras entidades del mismo sector, que se encarga de brindar servicios de calibración a instituciones públicas y privadas.

## Etapas del estudio

### Contacto con los laboratorios

En coordinación con la Vicerrectoría de Investigación (VI) y durante el período de realización del proyecto se enviaron invitaciones a las facultades, y específicamente a las personas coordinadoras de los laboratorios en los diferentes campus de la UNA, con el fin de solicitar la participación del personal de los laboratorios en la ejecución de un programa de calibraciones a instrumentos y equipos de medición de las magnitudes: masa (pesas y masas patrón, instrumentos de pesaje), volumen (cristalería, instrumentos de pistón), temperatura (termómetros digitales y de líquido en vidrio), físico químico (medidores de pH) y dimensional (micrómetros, pie de rey y reglas).

### Visita de verificación

Se realizaron visitas periódicas para la aplicación de herramientas de análisis y la construcción de listas de chequeo.

Se identificaron las condiciones físicas de las áreas de trabajo, de tipología, clasificación y magnitudes de los equipos y cristalería de laboratorio, esto con el fin de programar las actividades de calibración y/o verificación; además, de registrar la cantidad y características del personal, condiciones ambientales, entre otros.

## Calibración de equipos

Los procedimientos de calibración fueron desarrollados y validados por el personal del Laboratorio de Metrología del PROCAME siguiendo los lineamientos internacionales y los criterios técnicos previamente definidos. También se estableció la frecuencia de calibración según la magnitud de cada equipo o instrumento.

Con el fin de tener un indicador sobre el estado metrológico de los instrumentos, se realizó un comparativo de los resultados obtenidos en la calibración de los instrumentos de pesaje con el reglamento NCR 179:1994 “Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático” y también de los resultados obtenidos en la calibración de instrumentos volumétricos con la norma BS 1792: 2000 “Especificación para matraces aforados de una marca”, ISO 4788:2005 “Cilindros graduados”, ISO 648:2008 “Pipetas de volumen simple” y la ISO 8655-2:2002 “Pipetas tipo pistón”.

## Resultados y discusión

### Contacto con los laboratorios

Según datos proporcionados por la VI, en el año de inicio de la investigación (2012) existían 113 laboratorios inscritos en la UNA. Durante la fase de campo se identificaron los llamados “laboratorios no funcionales”, los cuales no fueron considerados dentro del alcance del estudio ya que no requieren el uso de equipos y cristalería, tal es el caso de laboratorios de informática, herbarios, entre otros.

Una vez filtrada la información, se llevó a cabo una convocatoria para participar en la estrategia. A la misma respondieron 50 laboratorios según se muestra en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Laboratorios participantes en la investigación.

Campus	Facultad	Escuela/Instituto*	No laboratorios
Omar Dengo	Ciencias de la Tierra y el Mar	ECA	9
		EDECA	2
		CINAT	2
		INISEFOR	1
		IRET	2
		OVSICORI	1
	Ciencias Exactas y Naturales	Ciencias Biológicas	6
		Química	8
		Ciencias de la Salud	Medicina Veterinaria
Sede Alajuela			1
Puntarenas	Ciencias Exactas y Naturales	ECMC	7
Liberia		HIDROCEC	3
		<b>TOTAL</b>	<b>50</b>

\* Acrónimos utilizados según orden de aparición: Escuela de Ciencias Agrarias (ECA), Escuela de Ciencias Ambientales (EDECA), Centro de Investigaciones Apícolas Tropicales (CINAT); Instituto de Investigación y Servicios Forestales (INISEFOR), Instituto Regional de Estudios en Sustancias Tóxicas (IRET), Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), Estación de Ciencias Marino Costeras (ECMC), Centro de Recursos Hídricos para Centroamérica y el Caribe (HIDROCEC).

Para el logro de una mejor gestión metrológica en los laboratorios, [1] señalan que se deben producir fondos suficientes para dar soporte a las instalaciones, así como la trazabilidad de los estándares; mantener al personal actualizado en el estado del arte para el desarrollo de nuevas iniciativas técnicas y para apoyar las actividades existentes de calibración y medición.

En este sentido, la VI asignó recursos para la compra de patrones de medida, el pago para ampliar el alcance acreditado del laboratorio de calibración del PROCAME, el mantenimiento de instrumentos, así como la asignación de jornadas laborales para la contratación de recurso humano especializado.

De acuerdo con [9] [23], el último rubro de gastos es el de personal, ya que el laboratorio tiene que desarrollar la competencia para calibrar sus propios equipos. Esto requiere de tiempo, habilidad y entrenamiento.

### Visita de verificación

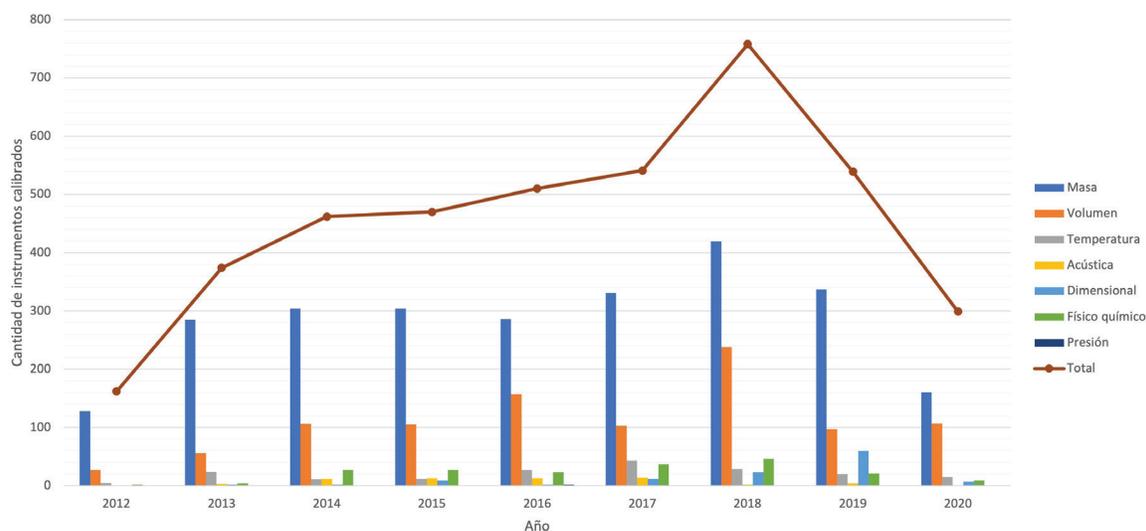
Se realizaron visitas de campo a las instalaciones de cada uno de los laboratorios en la que se aprovechó para brindar charlas de sensibilización a los usuarios internos de los laboratorios. Estas charlas se enfocaban en la importancia de la gestión metrológica. También se estableció una línea base sobre la situación en términos de las necesidades de infraestructura, equipamiento y recurso humano.

Como parte de los hallazgos del estudio se identificó que la mayor parte de los laboratorios no contaban con procedimientos de ensayo validados y que ciertos equipos presentaban problemas debido a una mala utilización o por la falta de uso. En algunos casos, no se contaba con una planificación de las actividades de calibración ni los responsables de estas. En términos generales, no se llevaban registros para asegurar la trazabilidad de las mediciones.

Al respecto, [20] destacan que la gestión metrológica de resultados en el laboratorio mejora a través de una adecuada definición de funciones y responsabilidades, en especial si lo que se busca es consolidar las actividades científicas y técnicas. En la misma línea, [19] indican que los laboratorios que siguen algún tipo de estrategia para asegurar la calidad de los datos que obtienen, muestran un mejor control sobre sus actividades, principalmente el mantenimiento de los equipos, el control de los reactivos y demás insumos, lo que influye en el desempeño de su personal.

### Calibración de equipos

En la figura 1 se muestra la cantidad de instrumentos calibrados desde el año 2012 hasta el año 2020 (clasificados por magnitud). A partir del año 2019 se da una tendencia a disminuir el número de instrumentos calibrados, llegando al mínimo valor en el 2020, esto debido a la emergencia sanitaria ocasionada por el Covid-19, ya que las instalaciones de la universidad permanecieron con acceso limitado. En todos los años, los equipos de la magnitud masa fueron lo que más fueron calibrados, especialmente los instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático.



**Figura 1.** Instrumentos calibrados por PROCAME por magnitud entre el 2012 y el 2020.

Al calcular el costo total de las calibraciones realizadas en forma gratuita por PROCAME, se estima que la UNA ahorró 486 000 USD durante el período de implementación del estudio.

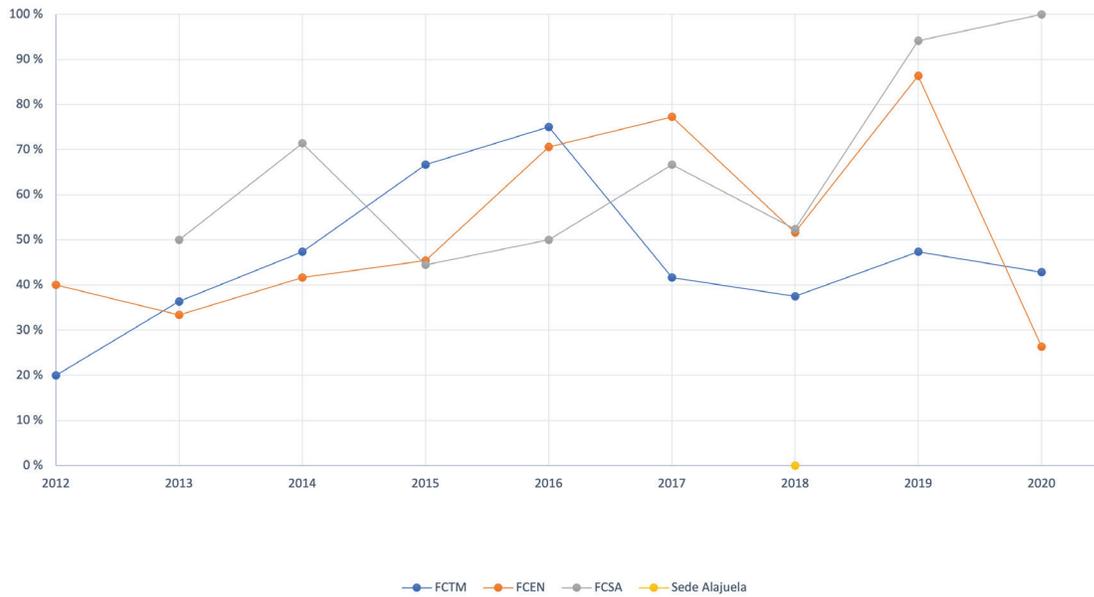
Según [9] el primer gasto por concepto de la gestión metrológica es el costo asociado con la calibración del equipo. Esta inversión se divide en tres partes: gastos de calibración externa, gastos en patrones de medida y tiempo requerido por el personal de laboratorio para calibrar internamente y realizar un seguimiento de la calibración de los instrumentos. Para [20], una investigación no se limita a los resultados de una prueba, sino que incluye la dificultad de estimar el costo de la “no calidad”, por lo que es necesario invertir recursos en tareas que buscan asegurar la idoneidad de los procedimientos de medición.

Por su parte, [1] señalan que los beneficios de la gestión de calibración con niveles adecuados de incertidumbre son: trazabilidad actualizada, difusión de la precisión, mantenimiento del entorno técnico (equipos, reactivos, instalaciones de laboratorio), compra de equipos y suministros, gestión de recursos y riesgos, capacitación del personal en áreas directamente relacionadas con las mediciones que realizan, llevar a cabo el manejo de no conformidades y la implementación de acciones correctivas.

Otros beneficios son: mayor credibilidad y visibilidad externa, mejora de la planificación y de los procesos internos, introducción de conceptos y cultura de calidad, y aumento de la motivación del personal [22]. En todos los casos, es esencial que el método de calibración asegure la trazabilidad a patrones reconocidos internacionalmente [16].

Sobre este tema, de la totalidad de instrumentos identificados se realizaron calibraciones en las magnitudes masa (pesas y masas patrón, instrumentos de pesaje), volumen (cristalería, instrumentos de pistón), temperatura (termómetros digitales y de líquido en vidrio), físico químico (medidores de pH) y dimensional (micrómetros, pie de rey y reglas). En este sentido, la mayor cantidad de instrumentos calibrados corresponden a la magnitud de masa y volumen.

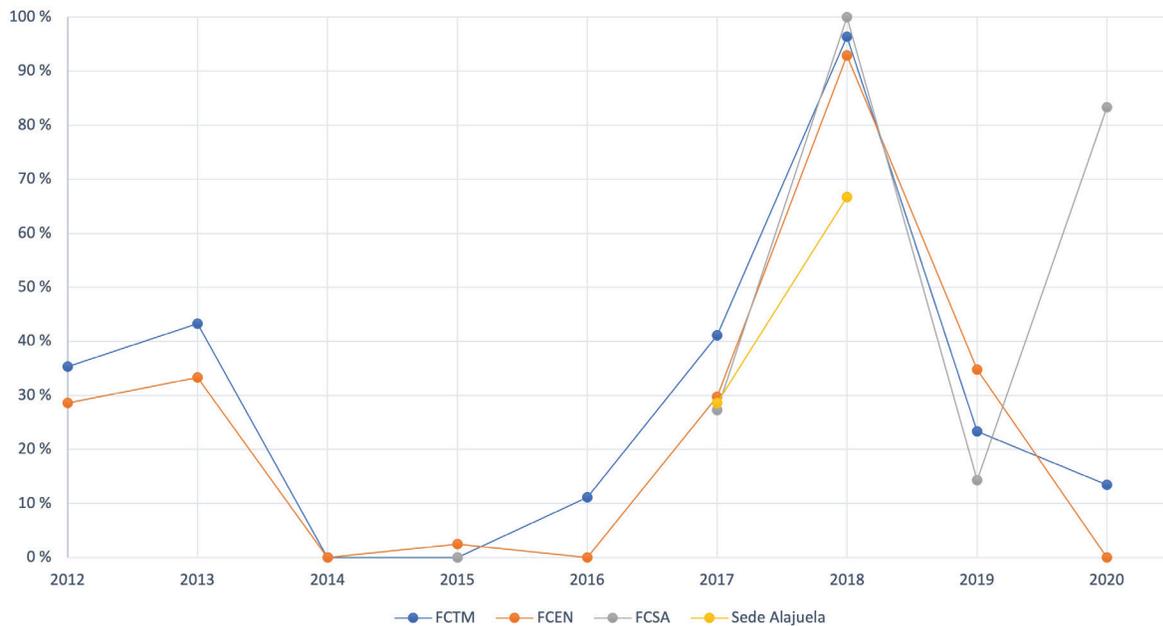
En la figura 2 se muestra el porcentaje de cumplimiento histórico de los instrumentos de pesaje evaluados con respecto al reglamento NCR 179:1994 “Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático”.



**Figura 2.** Porcentaje de cumplimiento de los instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático, con respecto a las especificaciones del reglamento NCR 179:1994.

Al respecto, no se observó una tendencia clara hacia el cumplimiento en los instrumentos y equipos de los laboratorios analizados, por lo que este comportamiento evidencia que es necesario mejorar la gestión metrológica para generar confianza en la calidad de sus resultados.

De igual manera se evaluaron los instrumentos volumétricos. En la figura 3 se muestra el comportamiento histórico del porcentaje de cumplimiento con las normas BS 1792: 2000 “Especificación para matraces aforados de una marca”, ISO 4788:2005 “Cilindros graduados”, ISO 648:2008 “Pipetas de volumen simple” y la ISO 8655-2:2002 “Pipetas tipo pistón”.



**Figura 3.** Porcentaje de cumplimiento de los instrumentos volumétricos con respecto a las especificaciones de la norma BS 1792: 2000, ISO 4788:2005, ISO 648:2008 y la ISO 8655-2:2002.

Históricamente no se evidenció un comportamiento hacia el cumplimiento y a excepción del año 2018, los porcentajes de cumplimiento de los instrumentos de los laboratorios analizados fueron bajos, por lo que es necesario que los usuarios tomen las medidas pertinentes para asegurar los procesos de medición donde se utilizan.

Este bajo cumplimiento en los instrumentos evaluados no necesariamente significa que los instrumentos estén fuera de control metrológico, ya que las tolerancias de los procesos internos de los laboratorios pueden ser diferentes a los errores máximos permitidos definidos en las normas de referencia. Sin embargo, esta indicación puede ser una señal de la necesidad de evaluar la gestión metrológica que realizan algunos laboratorios, además de ser una herramienta para la identificación oportuna de errores en las mediciones.

En términos generales, no se cuenta con un presupuesto destinado al mantenimiento y reparación de instrumentos de medición, de manera que se puede ver disminuida la vida útil de estos activos. En todo caso, este estudio ha identificado mecanismos para que los laboratorios cuenten con mediciones trazables al Sistema Internacional de Unidades (SI), aumentando la confianza en sus resultados, siendo una herramienta clave para la comparabilidad de estos con otros laboratorios y permitiendo la detección de problemas e inclusive disminuyendo la presión económica por concepto de calibraciones.

## Conclusiones

Los resultados presentados en esta investigación permiten una mayor comprensión de los desafíos que enfrentan los laboratorios universitarios a la hora de implementar acciones tendientes a la gestión metrológica. Con base en estos hallazgos, es posible concluir que:

Existe la necesidad de establecer procedimientos para la gestión técnica y de calidad de los activos que están a cargo de las personas coordinadoras de los laboratorios. En su mayoría, esta responsabilidad recae en profesionales del propio laboratorio que no cuentan con la formación sobre gestión metrológica de los equipos que tienen bajo su resguardo.

Por otra parte, existe una ausencia de propuestas de solución para diversos problemas comunes en entornos universitarios, esto debido a la diversidad de responsabilidades que las personas coordinadoras de laboratorios deben asumir. En este sentido, se debe tomar en cuenta que la implementación de la gestión metrológica consume tiempo y recursos. Sin embargo, la mejora continua de los procedimientos técnicos, y la certeza de la calidad de los resultados que el laboratorio entrega superan claramente los desafíos.

En el caso específico de la UNA, se han realizado inversiones en equipamiento y capacitación de personal. Sin embargo, no se han logrado cubrir todas las necesidades de trazabilidad de los laboratorios, ya que existen magnitudes para las cuales no se cuenta con los patrones de medida para la calibración de instrumentos, lo que impide la completa gestión metrológica de los resultados.

Los resultados obtenidos mediante las calibraciones de los equipos contra las normas aplicables son un indicador de que debe mejorarse la gestión metrológica, ya que los procesos de medición podrían estar fuera de control y estar generando resultados que no son veraces.

## Referencias

- [1] Ruiz, G. A., Padilla, S., Sanchez, J., Nava, R., Valera, B., & Gutierrez, F. M. Effects on R&D and teaching of the ISO 17025 Accreditation in a Calibration University Laboratory.

- [2] Grochau, I. H., Ferreira, C. A., Ferreira, J. Z., & ten Caten, C. S. (2010). Implementation of a quality management system in university test laboratories: a brief review and new proposals. *Accreditation and Quality Assurance*, 15(12), 681-689.
- [3] Zapata-García, D., Llauradó, M., & Rauret, G. (2007). Experience of implementing ISO 17025 for the accreditation of a university testing laboratory. *Accreditation and quality assurance*, 12(6), 317-322.
- [4] Rodima, A., Vilbaste, M., Saks, O., Jakobson, E., Koort, E., Pihl, V., ... & Leito, I. (2005). ISO 17025 quality system in a university environment. *Accreditation and quality assurance*, 10(7), 369-372.
- [5] Miguel, A. L. R., Moreiraa, R. P. L., & Oliveira, A. F. D. (2021). ISO/IEC 17025: history and introduction of concepts. *Química Nova*, 44, 792-796.
- [6] González-Aportela, O., Batista-Mainegra, A., & Fernández-Larrea, M. G. (2020). Sistema de gestión de la calidad del proceso de extensión universitaria, una experiencia en la Universidad de La Habana. *Revista Electrónica Calidad en la Educación Superior*, 11(2), 105-134.
- [7] Grochau, I. H., ten Caten, C. S., & de Camargo Forte, M. M. (2018). Motivations, benefits and challenges on ISO/IEC 17025 accreditation of higher education institution laboratories. *Accreditation and Quality Assurance*, 23(3), 183-188.
- [8] Putri, Z. T., Fahma, F., Sutopo, W., & Zakaria, R. (2019, April). A framework to measure readiness level of Laboratory for Implementing ISO/IEC 17025: a case study. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 495, No. 1, p. 012011). IOP Publishing.
- [9] Hullihen, K., Fitzsimmons, V., & Fisch, M. R. (2009). Establishing an ISO 17025 compliant laboratory at a university. *International Journal of Modern Engineering*, 10(1), 55-64.
- [10] Kay, J. F. (2012). Combining ISO/IEC 17025: 2005 and European Commission Decision 2002/657 audit requirements: A practical way forward. *Drug Testing and Analysis*, 4, 25-27.
- [11] Aqidawati, E. F., Sutopo, W., & Zakaria, R. (2019). Model to Measure the Readiness of University Testing Laboratories to Fulfill ISO/IEC 17025 Requirements (A Case Study). *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity*, 5(1), 2.
- [12] Beckett, J., & Slay, J. (2011). Scientific underpinnings and background to standards and accreditation in digital forensics. *Digital investigation*, 8(2), 114-121.
- [13] Honsa, J. D., & McIntyre, D. A. (2003). ISO 17025: practical benefits of implementing a quality system. *Journal of AOAC International*, 86(5), 1038-1044.
- [14] Vlachos, N. A., Michail, C., & Sotiropoulou, D. (2002). Is ISO/IEC 17025 accreditation a benefit or hindrance to testing laboratories? The greek experience. *Journal of food composition and analysis*, 15(6), 749-757.
- [15] Sadikoglu, E., & Temur, T. (2012). The relationship between ISO 17025 quality management system accreditation and laboratory performance. *Quality Management and Practices*, 13, 221-230.
- [16] Millea, A., Munteanu, R., & Marcus, I. U. (2003, June). Teaching general metrology: why, what, how. In XVII IMEKO World Congress.
- [17] Cebekhulu, B. M. B., & Mugova, C. (2017, July). Quality control in a university laboratory: evaluating the gap between ISO/IEC-17025 requirements and the thin section Laboratory's processes. In *Proceedings of the International Symposium on Industrial Engineering and Operations Management (IEOM)*. Bristol (pp. 614-25).
- [18] Almeida, L. A., Frota, M. N., & Frota, M. N. (2003, June). Metrology education and citizenship: the Brazilian experience. In *Proceedings do XVII IMEKO World Congress: Metrology in the 3rd. Millennium*. Dubrovnik, Croatia, June (pp. 22-27).
- [19] Gawor, A., Kurek, E., Rusczyńska, A., & Bulska, E. (2021). Key issues related to the accreditation of academic laboratories. *Accreditation and Quality Assurance*, 26(6), 285-291.
- [20] Martínez-Perales, S., Ortiz-Marcos, I., & Ruiz, J. J. (2021). A proposal of model for a quality management system in research testing laboratories. *Accreditation and Quality Assurance*, 26(6), 237-248.
- [21] Zaimović-Uzunović, N., & Lemeš, S. (2008). Importance of Metrology Education-B&H Case. In *1st Regional Metrology Organisations Symposium-RMO*.
- [22] Fernandes, E. A. D. N., Bacchi, M. A., Tagliaferro, F. S., Gonzaga, C. L., De França, E. J., Favaro, P. C., & de Angelis Fogaça, A. (2006). Quality system implementation in a Brazilian university laboratory. *Accreditation and Quality Assurance*, 10(11), 594-598.
- [23] Osanna, P. H., Durakbasa, N. M., Kräuter, L., & Güclü, E. (2007). A modern scheme for education, training and certification of metrology and measurement technique personnel. na.