

# RONNA

## Metrología fundamental y aplicada

Volumen 1 | Ejemplar 2 | Segundo Semestre de 2023



Laboratorio Costarricense de Metrología

# Revista Ronna

Volumen 1. Ejemplar 2. Segundo semestre de 2023.

Diseño de portada: Rodrigo Alberto “Kike” Molina Figuls.

Imagen de portada: Elaboración propia - Laboratorio Costarricense de Metrología

## Índice de contenidos

Editorial.....	1
Principales resultados de las últimas comparaciones interlaboratoriales organizadas entre el LACOMET y sus Laboratorios Designados.....	2
Alianza Público Privada (APP): Una herramienta para la producción a escala industrial de un Material de Referencia Certificado (MRC) de alcohol en gel .....	7
Diseño de un sistema automatizado de intercambio de patrones de masa y esferas de silicio en una balanza comparadora .....	12
Comportamiento e indicadores en el consumo de agua potable.....	17

## Editorial

El concepto de calidad es difícil de separar de una medición. Se considera que un producto o servicio cumple con los requisitos de calidad establecidos en normas o reglamentos cuando se mide una o varias de sus características de interés. De igual forma, el concepto de medición, como proceso mediante el cual se obtiene un resultado de medida, no se puede separar de la existencia de una referencia. Por ejemplo, una dimensión de una parte fabricada se puede comparar contra la indicación de un micrómetro, la indicación del micrómetro a la dimensión de un bloque patrón y así sucesivamente, hasta la definición del metro como unidad de longitud en el Sistema Internacional de Unidades (trazabilidad metrológica). De acuerdo con lo anterior, la metrología primaria desarrollada en un Instituto Nacional de Metrología (INM) se dedica al desarrollo, mantenimiento y mejora de los patrones de medida (referencias) primarios (mayor exactitud) que permiten el aseguramiento de la calidad de los productos y servicios del país, a través de los servicios de calibración, verificación y ensayo.

En este ejemplar, se presentan dos artículos de cómo, en el LACOMET, se han desarrollado nuevos patrones de medida, como lo son los materiales de referencia certificados específicos a las necesidades nacionales; y cómo se implementa la mejora continua en los procesos de laboratorio para mejorar la exactitud y reducir la incertidumbre de medida en los procesos de calibración de pesas y esferas de 1 kg. Adicionalmente, se presentan otros dos artículos sobre el impacto de la aplicación de herramientas metrológicas: una utilizada para la demostración de competencia técnica (ensayos de aptitud y comparaciones interlaboratoriales); y otra para estimar estadísticas y realizar el análisis de incertidumbre en datos asimétricos utilizando métricas de consumo de agua, como ejemplo. Espero que estos artículos sean de su agrado.

**Fernando J. Andrés Monge** / *Director General LACOMET*



LABORATORIO  
COSTARRICENSE  
DE METROLOGÍA

GOBIERNO  
DE COSTA RICA

# Principales resultados de las últimas comparaciones interlaboratoriales organizadas entre el LACOMET y sus Laboratorios Designados

**Gabriel Molina-Castro**<sup>1</sup>, Profesional del Departamento de Metrología Química, LACOMET, Costa Rica. Email: [gmolina@lcm.go.cr](mailto:gmolina@lcm.go.cr). Código ORCID: 0000-0002-4051-7229

**Humberto Tioli-Mora**, Jefe del Laboratorio de Fuerza, LanammeUCR, Costa Rica. Email: [jose.tioli@ucr.ac.cr](mailto:jose.tioli@ucr.ac.cr)

**Óscar Fallas-Cordero**, Responsable Técnico del Laboratorio de Metrología LAMETRO, ICE, Costa Rica. Email: [OFallasC@ice.go.cr](mailto:OFallasC@ice.go.cr)

**Rodolfo Durán-Gutiérrez**, Responsable de la Unidad de Laboratorios Metrológicos, ICE, Costa Rica. Email: [RDuranG@ice.go.cr](mailto:RDuranG@ice.go.cr)

**Róger Meléndez-Poltronieri**, Profesional de la Unidad de Laboratorios Metrológicos, ICE, Costa Rica. Email: [RMelendezPo@ice.go.cr](mailto:RMelendezPo@ice.go.cr)

## Resumen

Este artículo presenta los principales resultados obtenidos en las actividades de comparaciones interlaboratoriales organizadas de forma conjunta entre el Laboratorio Costarricense de Metrología y sus Laboratorios Designados, para el período 2022-2023.

**Palabras clave:** Calidad, comparación interlaboratorial, ensayo de aptitud, metrología.

## 1. Introducción

De acuerdo con la norma INTE/ISO/IEC 17043, una comparación interlaboratorial o interlaboratorios se define como una actividad que incluye la “organización, realización y evaluación de mediciones o ensayos sobre el mismo ítem o ítems similares por dos o más laboratorios de acuerdo con condiciones predeterminadas” [1]. El uso de estas actividades para evaluar el desempeño de los participantes corresponde a un ensayo de aptitud [1]. Las aplicaciones más comunes de estas comparaciones incluyen la evaluación del desempeño de laboratorios, la identificación de procedimientos de medición inadecuados y la validación de métodos y de incertidumbres declaradas [2]. Por este motivo, las comparaciones interlaboratoriales forman parte de las estrategias para asegurar la validez de los resultados emitidos por los laboratorios de calibración y ensayo [3], y su participación es

obligatoria para obtener el reconocimiento o acreditación de su competencia técnica [4].

Cumpliendo con sus deberes establecidos por ley, el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET o LCM) y sus laboratorios designados (LD) han ejecutado ejercicios interlaboratoriales para atender las necesidades metrológicas del país, según sus capacidades técnicas [5, 6]. Algunos ejemplos pueden ser consultados en [7, 8]. Aunque en el pasado algunas de estas actividades fueron organizadas de forma independiente y autónoma por parte de los LD, como parte de sus funciones dentro de la infraestructura metrológica nacional, en los últimos años se ha trabajado en su coordinación y ejecución conjunta con el LACOMET, permitiendo la articulación de esfuerzos, homologación de criterios y optimización de recursos disponibles. El presente artículo tiene como objetivo presentar los principales resultados

---

<sup>1</sup> Autor principal

obtenidos de este trabajo conjunto entre los años 2022 y 2023, así como su aporte e impacto al Sistema Nacional para la Calidad.

## 2. Aspectos Metodológicos

Periódicamente, el LACOMET y sus LD organizan actividades interlaboratoriales en beneficio de los laboratorios de calibración del país y la región. Durante los últimos dos años (2022 y 2023), 6 actividades de este tipo fueron organizadas y ejecutadas conjuntamente. En el Cuadro I se resumen los principales detalles de estas comparaciones interlaboratoriales, destacándose la conclusión de 4 ejercicios y la actual ejecución de 2 de ellos.

De forma general, todas estas actividades siguieron un mismo diseño: planificación conjunta entre el LD y LACOMET, caracterización y estudio de deriva del ítem de calibración (patrón viajero) por parte del LD (laboratorio piloto), distribución del ítem entre los laboratorios participantes inscritos (esquema de estrella o pétalos), y el análisis de datos y construcción del informe final como trabajo conjunto entre el LD y LACOMET.

El proceso de planificación incluyó visitas técnicas del personal del LACOMET a los LD, para su familiarización con los procesos de calibración, y reuniones de coordinación para definir los aspectos técnicos y logísticos correspondientes. Se destaca que los ejercicios organizados en Fuerza y Volumen formaron parte del Plan Bienal de Ensayos de Aptitud (PBEA) del LACOMET [9, 10], por lo que estos procesos se llevaron a cabo bajo las disposiciones del Sistema de Gestión de Calidad (SGC) del LACOMET acorde con la norma INTE/ISO/IEC 17043 [1], Las demás actividades fueron organizadas fuera de este plan, siempre buscando garantizar la misma calidad del proceso gracias a los SGC implementados.

Los procesos de caracterización y estudios de deriva consistieron en la ejecución y análisis de calibraciones periódicas por parte de cada LD, previo, durante y posterior a las calibraciones de los laboratorios participantes, garantizando además la trazabilidad de sus resultados a patrones nacionales y al SI a través de las CMCs declaradas por cada LD ante el BIPM, en el marco del CIPM-MRA [11].

Finalmente, el análisis de resultados incluyó la asignación de valores de referencia, el estudio de la significancia de la deriva cuantificada y la evaluación del desempeño de los participantes o su comparabilidad con respecto al LD a través del cálculo de errores normalizados ( $E_N$ ) [2].

## 3. Principales Resultados

En el Cuadro I se muestran las magnitudes que han sido o están siendo satisfactoriamente cubiertas por estas comparaciones interlaboratoriales, así como la cantidad de participantes por cada comparación. En total, se cuantificaron 30 participaciones de laboratorios de calibración nacionales y regionales, que han aprovechado estos ejercicios para conocer el estado de sus métodos de medición, identificar posibles desvíos y mejorar la calidad de sus resultados en estas magnitudes soportadas gracias a las capacidades técnicas de los LD.

Es importante destacar que, en los distintos alcances e ítems de calibración utilizados, uno o más mensurandos o puntos de calibración fueron evaluados en cada comparación interlaboratorial organizada. Considerando únicamente las 4 comparaciones ya finalizadas, un total de 150 evaluaciones de desempeño o comparabilidad fueron realizadas, siendo el 80 % satisfactorias según el criterio considerado ( $E_N \leq 1$ ) [2]. La Figura 1 presenta el detalle de las evaluaciones de desempeño o comparabilidad realizadas para

cada uno de las magnitudes consideradas en estas 4 comparaciones interlaboratoriales.

Cabe señalar que las magnitudes de Fuerza, Energía y Tensión AC contaron con la mayor cantidad de evaluaciones de desempeño o comparabilidad (entre 24 y 30), mientras que las magnitudes de Potencia y Tiempo y Frecuencia con la menor cantidad (entre 3 y 5). Esta diferencia se explica en la cantidad de puntos de calibración considerados y la

cantidad de laboratorios participantes. Por su parte, las magnitudes de Potencia, Energía, Tensión DC y Corriente AC presentaron la mayor proporción de resultados satisfactorios (> 90 %), destacándose las primeras con un 100 % de resultados satisfactorios. Finalmente, las magnitudes de Fuerza y Corriente DC obtuvieron las proporciones menores de resultados satisfactorios (< 70 %), evidenciando mayores oportunidades de mejora para los laboratorios participantes.

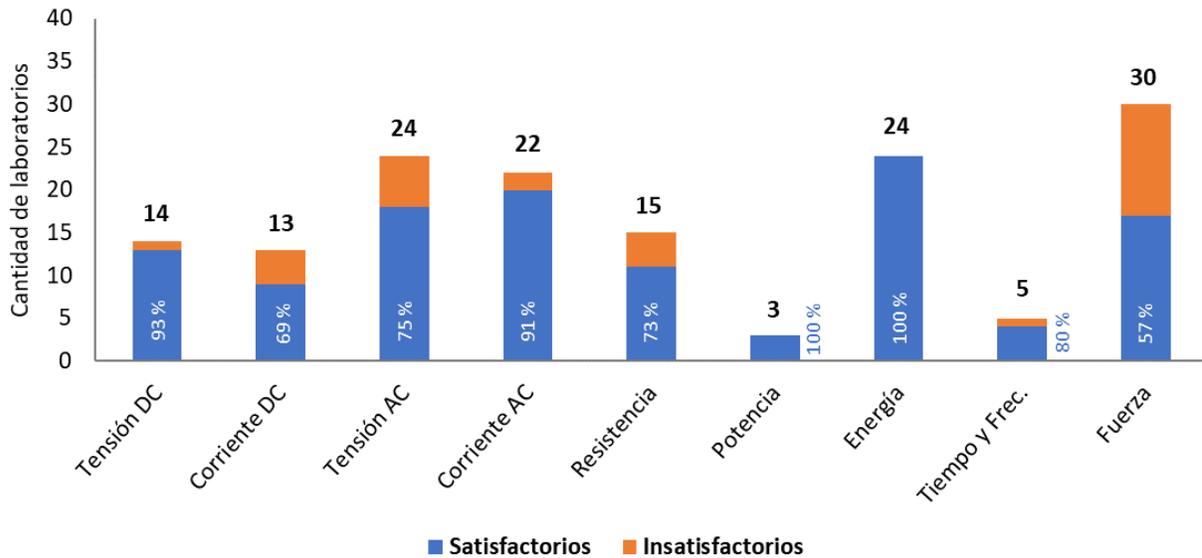
### CUADRO I

#### Principales características de las actividades de comparación interlaboratorial organizadas recientemente en conjunto entre el LACOMET y sus laboratorios designados

Magnitud	Laboratorio designado	Ítem de calibración utilizado	Período de ejecución	Laboratorios participantes*
Corriente AC y DC				
Tensión AC y DC	ULM-ICE (LMVE)	Multímetro digital	2022 a 2023	7
Resistencia (eléctrica)				
Energía (eléctrica)	ULM-ICE (LMVE)	Medidor de potencia y energía digital	2022	7
Potencia (eléctrica)				
Tiempo y Frecuencia	LAMETRO-ICE	Cronómetro digital	2022 a 2023	5
Fuerza	LanammeUCR	Máquina de fuerza	2022	4
				1
Atenuación óptica*	LAMETRO-ICE	Fibra óptica patrón y fibra óptica de lanzamiento	2023	
Volumen*	LNM-RECOPE	Recipiente volumétrico de 20 L	2023	6

\*Corresponden a laboratorios que participaron en estas actividades, diferentes a los LD.

\*Actualmente en proceso de ejecución, por lo que más adelante no se presentarán detalles sobre sus resultados.



**Figura 1.** Cantidad total y proporción satisfactoria de evaluaciones de desempeño o comparabilidad realizadas por magnitud, en las actividades de comparación interlaboratorial concluidas.

## 4. Conclusiones y Proyecciones

Estos procesos de organización y ejecución de comparaciones interlaboratoriales evidenciaron los beneficios del trabajo articulado entre el LACOMET y sus LD, en pro de la infraestructura metrológica nacional y regional. Los informes finales de estas actividades interlaboratoriales y de los ensayos de aptitud organizados por el LACOMET, están disponibles en el sitio web [ea.lcm.go.cr](http://ea.lcm.go.cr).

Finalmente, se proyecta replicar las experiencias obtenidas en el ensayo de aptitud de Fuerza, y las que se están obteniendo actualmente en Volumen, para incorporar todas las actividades interlaboratoriales conjuntas con los LD dentro del PBEA. De esta manera, se busca mantener una periodicidad definida para la ejecución de un programa

nacional de ensayos de aptitud en calibración, amparado bajo el SGC del LACOMET acorde con la norma INTE/ISO/IEC 17043 y soportado por las CMCs declaradas a nivel internacional por los laboratorios nacionales. Se invita al sector metrológico nacional y regional a colaborar e involucrarse, de forma participativa, con esta iniciativa que busca aprovechar los recursos disponibles y mejorar continuamente la infraestructura de calidad del país.

## 5. Agradecimientos

Los autores extienden un agradecimiento a todo el personal involucrado en estas actividades interlaboratoriales, incluyendo al personal del LACOMET y los LD, clientes y otros aliados estratégicos.

## 6. Referencias

- [1] *Evaluación de la conformidad — Requisitos generales para los ensayos de aptitud*, Norma INTE/ISO/IEC 17043, 2010.
- [2] *Métodos estadísticos para utilizar en ensayos de aptitud mediante comparaciones interlaboratoriales*, Norma INTE/ISO 13528, 2016.

- [3] *Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración*, Norma INTE/ISO/IEC 17025, 2017.
- [4] *Criterios para evaluación y acreditación de laboratorios bajo la norma INTE-ISO/IEC 17025:2017*, Criterio ECA-MC-C18, 2019.
- [5] *Sistema Nacional para la Calidad*, Ley N° 8279, 2002. [En línea]. Obtenido de <http://www.pgrweb.go.cr/scij>
- [6] *Reglamento para la designación de laboratorios nacionales de referencia en metrología*, Resolución LCM-RES-111-2021, 2021. [En línea]. Obtenido de <http://www.pgrweb.go.cr/scij>
- [7] O. Fallas-Cordero, B. Castro-Blanco y H. Sánchez-Vargas, "Comparación interlaboratorial de cronómetros 2014", *Tecnología en Marcha*, vol. 28(3), pp. 64-73, 2015. [En línea]. Obtenido de <https://ea.lcm.go.cr/>
- [8] J. Gómez-Valverde y H. Sánchez-Vargas, "Resultados de la comparación interlaboratorios de calibración de multímetros CAMET 2009", *Ingeniería*, vol. 19(2), pp. 73-90, 2009. [En línea]. Obtenido de <https://ea.lcm.go.cr/>
- [9] LACOMET. "Plan Bienal de Ensayos de Aptitud", Portal de Ensayos de Aptitud del Laboratorio Costarricense de Metrología. <https://ea.lcm.go.cr/>
- [10] G. Molina-Castro, "PBEA: Una herramienta metrológica para asegurar la validez de los resultados de las mediciones en Costa Rica", *Revista RONNA*, vol. 1(1), pp. 3-6, 2023. [En línea]. Obtenido de <https://lcm.go.cr/>
- [11] BIPM. KCBD – Calibration and Measurement Capabilities (CMCs). <https://www.bipm.org/kcdb/>

# Alianza Público Privada (APP): Una herramienta para la producción a escala industrial de un Material de Referencia Certificado (MRC) de alcohol en gel

**Jimmy Venegas-Padilla**<sup>2</sup>. Profesional del Departamento de Metrología Química, LACOMET, Costa Rica. Email: [jvenegas@lcm.go.cr](mailto:jvenegas@lcm.go.cr)

**Eric Ortiz-Apuy**. Profesional del Departamento de Metrología Química, LACOMET, Costa Rica. Email: [eortiz@lcm.go.cr](mailto:eortiz@lcm.go.cr)

**Fernando Aragón-Mata**. Escuela de Química, Universidad de Costa Rica, Costa Rica. Email: [fernando.aragon@ucr.ac.cr](mailto:fernando.aragon@ucr.ac.cr)

## Resumen

El presente artículo describe los resultados obtenidos de la Alianza Público Privada (APP) conformada por la empresa Sur Química S.A y el Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET). Como producto principal se logró desarrollar un Material de Referencia Certificado (MRC) en matriz de alcohol en gel (denominado MQ-601), con valor asignado para los parámetros de contenido alcohólico y pH. Los resultados alcanzados demuestran que una APP es un esquema viable y con un alto potencial para satisfacer las necesidades metrológicas de la industria y los laboratorios de ensayo en nuestro país.

**Palabras claves:** Alcohol en gel, densitometría, GC-FID, material de referencia certificado, SARS-CoV-2.

## 1. Introducción

La pandemia ocasionada por el virus SARS-CoV-2, oficialmente declarada entre 2020 y 2023, ha sido una de las más extensas y mortales en tiempos recientes [1]. Para mitigar y contener su propagación, tanto en Costa Rica como en muchos otros países, se impusieron medidas obligatorias, como el uso de mascarillas, el estricto protocolo de lavado de manos, el distanciamiento social y la utilización constante de desinfectantes de manos.

El aumento en la producción causado por el consumo diario de desinfectantes, como el alcohol en gel, generó la necesidad de establecer una reglamentación clara para garantizar la seguridad de los usuarios y la efectividad de su utilización [2]. En respuesta, se publicó el RTCR 501:2020 [3], que establece los requisitos para contenido alcohólico y pH, además de los requerimientos de etiquetado. Asimismo, las metodologías analíticas para la

cuantificación de estas variables fueron publicadas según las normas INTE Q184:2020 e INTE Q185:2020 [4, 5].

A pesar de la implementación de estas regulaciones, la falta de un Material de Referencia Certificado (MRC) continuaba limitando al Sistema Nacional para la Calidad (SNC). Para abordar este vacío, LACOMET propuso un proyecto orientado al desarrollo de un MRC para los parámetros de contenido alcohólico y pH. La producción de este MRC, denominado MQ-601, se llevó a cabo mediante una Alianza Público Privada (APP) con la empresa Sur Química S.A. El objetivo común fue producir a escala industrial un MRC en matriz de alcohol en gel con trazabilidad metrológica, siguiendo los estándares y condiciones de una empresa especializada en la fabricación de alcohol en gel.

---

<sup>2</sup> Autor Principal

## 2. Producción del MQ-601

El lote candidato fue producido en la Planta de Cosméticos de Sur Química S.A. durante enero del 2022. La producción se llevó a cabo conforme a la Orden de Producción "OP-1716437", y se le asignó el lote granel "000518329". A lo largo del proceso, todos los materiales fueron añadidos de manera gravimétrica.



**Figura 1.** a) Tina metálica y dispersor utilizada para la producción del MRC; b) Adición gravimétrica del etanol.

El proceso inició con agua desionizada como material de partida. En primer lugar se agregó el ácido poliacrílico y se homogeneizó a elevadas velocidades utilizando un dispersor. A continuación, se incorporó el etanol (como se muestra en la Figura 1.b.), agitándolo durante 5 min. Seguidamente, se añadió la trietanolamina y se mantuvo la agitación durante 5 min más. Una vez transcurrido este periodo, se sustituyó el dispersor por un agitador de aspas y se procedió a homogeneizar durante 2 h, según se puede observar en la Figura 2.



**Figura 2.** Agitador de aspas utilizado para homogeneizar el MQ-601.

Para concluir, el producto se envasó por peso en botellas de PET de 350 mL. Además, debido a las características particulares de este MRC, cada unidad fue sellada con un liner adhesivo previo a la tapa. La Figura 3 muestra el proceso de pesado y envasado, así como la etiqueta empleada para el MQ-601.



**Figura 3.** Envasado por peso del MQ-601 y etiqueta utilizada.

El lote producido total consistió de 528 unidades, de las cuales 450 se encuentran actualmente disponibles bajo custodia del LACOMET.

## 3. Certificación del MQ-601

La certificación consistió en los siguientes estudios:

- Estudio de homogeneidad:** Homogeneidad entre botellas distintas, y homogeneidad dentro de una misma botella.
- Estudio de estabilidad acelerada:** Isócrono a 20 °C, y 37 °C.
- Estudio de caracterización:** Asignación del valor certificado para pH, y para contenido alcohólico; con su respectiva incertidumbre de medida, incluyendo los aportes por homogeneidad y estabilidad.

El estudio de homogeneidad se planificó con el objetivo de estimar la componente de incertidumbre relacionada con la similitud del contenido de etanol y el valor de pH entre

distintas botellas ( $u_{\text{hom}}$ ) y, la componente de incertidumbre dentro de las botellas ( $u_w$ ). La estimación de la incertidumbre por la componente de homogeneidad del MRC se realizó conforme los lineamientos de la ISO Guía 35 [6]. Los aportes de  $u_{\text{hom}}$  y  $u_w$  se presentan en el Cuadro I.

Con el fin de minimizar el aporte de incertidumbre por la componente de repetibilidad del método, la determinación del contenido alcohólico se realizó mediante la técnica de densitometría, mientras que la medición pH se realizó mediante lectura directa con electrodo de vidrio de punta cónica.

Mediante un análisis de varianza paramétrico (ANOVA) con un nivel de significancia del 5 % para los parámetros de pH y contenido alcohólico se concluyó que todas las unidades del MRC analizadas poseían medias iguales ( $p\text{-value} > 0,05$ ).

Además de las pruebas estadísticas, se evaluó la presencia de tendencias por orden de preparación y por orden de medición del MQ-601, los cuales mostraron que no existía ninguna tendencia significativa.

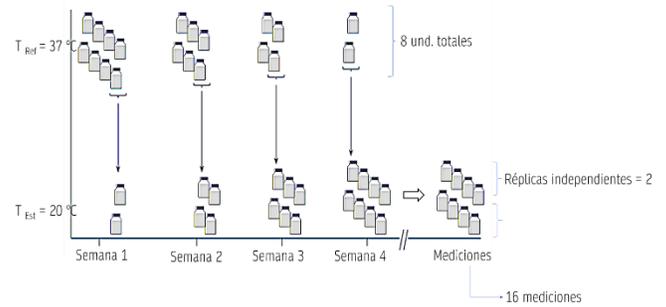
### CUADRO I

#### Aportes de incertidumbre obtenidos de los estudios realizados al MQ-601.

Parámetro	Homogeneidad (dentro) ( $u_w$ )	Homogeneidad (entre) ( $u_{\text{hom}}$ )	Estabilidad acelerada ( $u_{\text{estab}}$ )
pH (l)	0,045	0,069	0,066
Contenido alcohólico (% m/m)	0,24	1,04	1,11

Por otra parte, para evaluar la estabilidad a corto plazo del MQ-601, se llevó a cabo un estudio isócrono utilizando dos temperaturas. La temperatura de referencia ( $T_{\text{ref}}$ ) fue 20 °C y la temperatura de estudio ( $T_{\text{est}}$ ) se elevó a 37 °C, con el fin de simular las condiciones adversas de transporte del MRC [7]. La Figura 5 brinda un mayor detalle en el diseño empleado en el estudio de estabilidad acelerada de 30 días, el cual generó un conjunto de datos que consiste

en 16 mediciones para cada uno de los parámetros analizados en el MQ-601 [6].



**Figura 5.** Diseño isócrono implementado en el estudio de estabilidad acelerada del MQ-601.

Los resultados del estudio de estabilidad indicaron que el MRC demostró ser lo suficientemente estable. Tanto el pH como el contenido alcohólico no presentaron tendencias significativas a lo largo del tiempo, es decir, estadísticamente, las pendientes ajustadas en el tiempo fueron indistinguibles de cero, con un nivel de significancia del 5 % ( $p\text{-value} > 0,1$ ).

Es importante resaltar que, para el contenido alcohólico, el estudio de estabilidad se basó en mediciones realizadas con las técnicas analíticas de densitometría y cromatografía de gases con detector de ionización de llama (*GC-FID*). El Cuadro I muestra la contribución estimada por estabilidad ( $u_{\text{estab}}$ ) para el MQ-601 [7].

El proceso de asignación de valor para contenido alcohólico involucró la utilización de 6 unidades aleatorias del lote total, y la caracterización mediante dos técnicas analíticas: *GC-FID* y densitometría. En cuanto al valor asignado de pH, se utilizó la información generada en el estudio de homogeneidad empleando electrodo de vidrio de punta cónica. Es relevante destacar que, para el análisis del contenido alcohólico, la muestra se sometió previamente a una destilación simple y diluciones gravimétricas.

El valor asignado para contenido alcohólico se estimó a partir de la combinación del resultado obtenido por ambas metodologías (*GC-FID* y densitometría) mediante el método de Der Simonian-Laird en el software *NIST consensus*

*builder* [8]. Por su parte, el valor asignado para pH se estimó como el valor promedio de los resultados del estudio de homogeneidad.

El Cuadro II muestra el valor asignado para cada una de los parámetros caracterizados del MQ-601, así como su respectiva incertidumbre de medida incluyendo las componentes de homogeneidad ( $u_{\text{hom}}$ ), de estabilidad ( $u_{\text{estab}}$ ), y de caracterización ( $u_{\text{caract}}$ ) [7].

**CUADRO II**  
**Valores asignados e incertidumbres**  
**expandidas para el MQ-601.**

Parámetro	Valor asignado	Incertidumbre expandida (k=2)
pH (l)	7,7	0,2
Contenido alcohólico (% m/m)	62,0	3,3

<sup>1</sup>Estimación realizada por medio de Der SimonianLaird.

Actualmente, el LACOMET continúa estudiando la estabilidad a largo plazo y realizando el monitoreo del MRC con la finalidad de evaluar si los valores asignados tienen variaciones significativas en el tiempo.

Además, el proceso de caracterización para contenido alcohólico del MQ-601 espera ser ampliado mediante la incorporación de dos técnicas analíticas adicionales: el índice de refracción ( $n$ ) y la espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier cuantitativo (FTIR-QA). Este enfoque de ampliación en la

asignación de valores tiene como objetivo transformar y robustecer al MQ-601 en un MRC que cumpla con las exigencias metrológicas, tanto de la industria química como de los laboratorios de ensayo que llevan a cabo mediciones en matrices viscosas, como lo es el alcohol en gel, u otros productos similares. En términos generales, este MRC pretende garantizar que este tipo de productos (tanto los nacionales, como los importados) se ajusten a las especificaciones establecidas en los reglamentos técnicos pertinentes.

## 4. Conclusiones

Los resultados obtenidos durante el desarrollo del MQ-601 demuestran que una APP orientada a fortalecer el control y aseguramiento de calidad de los productos en el mercado nacional es un enfoque adecuado y con un alto potencial para satisfacer las necesidades metrológicas de la industria y los laboratorios de ensayo en nuestro país.

Los resultados de los estudios de homogeneidad y estabilidad nos permiten concluir que el MQ-601 cumple con los requisitos técnicos para ser considerado un Material de Referencia Certificado (MRC) en los parámetros de contenido alcohólico y pH.

El lote resultante del MQ-601 consta de 450 unidades disponibles para su comercialización y uso. El valor asignado para contenido alcohólico en fracción en masa es de  $(62,0 \pm 3,3)$  %; y para pH es de  $(7,7 \pm 0,2)$ .

## 5. Referencias

- [1] Hao, Y. J.; Wang, Y. L.; Wang, M. Y.; Zhou, L.; Shi, J. Y.; Cao, J. M.; Wang, D. P. The Origins of COVID-19 Pandemic: A Brief Overview. *Transbound. Emerg. Dis.* 2022, 69 (6), 3181–3197. <https://doi.org/10.1111/tbed.14732>.
- [2] Berardi, A.; Perinelli, D. R.; Merchant, H. A.; Bisharat, L.; Basheti, I. A.; Bonacucina, G.; Cespi, M.; Palmieri, G. F. Hand Sanitisers amid CoViD-19: A Critical Review of Alcohol-Based Products on the Market and Formulation Approaches to Respond to Increasing Demand. *Int. J. Pharm.* 2020, 584 (April), 119431. <https://doi.org/10.1016/j.ijpharm.2020.119431>.
- [3] Gobierno de Costa Rica. Reglamento Técnico RTCR 501:2020 Productos Cosméticos, Alcohol En Gel Para Manos. Especificaciones y Requisitos Para El Registro Sanitario. Sistema Costarricense de Información Jurídica: Costa Rica 2020.

- [4] Inteco. Inte Q185:2020 - Determinación Del PH En Alcohol En Gel. Método de Ensayo. 2020, No. 506.
- [5] Inteco. Inte Q184:2020 - Determinación Del Grado Alcohólico En Alcohol En Gel. Método de Ensayo. 2020, No. 506.
- [6] ISO, Guide 35 - Reference materials — Guidance for characterization and assessment of homogeneity and stability,” International Organization for Standardization, Standard, 2017.
- [7] Aragón M, F., Desarrollo de un Material de Referencia Certificado (MRC) de Alcohol en Gel para Fortalecer la Normalización y la Reglamentación Costarricense en el Acatamiento de las Medidas Sanitarias (Trabajo Final de Graduación Licenciatura en Química), Universidad de Costa Rica, Facultad de Ciencias, Escuela de Química, 2023.
- [8] Amanda Koepke A., Lafarge, T., Possolo, A., Toman, B., NIST Consensus Builder User’s Manual, Statistical Engineering Division Information Technology Laboratory, NIST, 2020. <https://consensus.nist.gov/app/nicob>

# Diseño de un sistema automatizado de intercambio de patrones de masa y esferas de silicio en una balanza comparadora

**Edgardo Hidalgo-Bogantes<sup>3</sup>**, Área Académica de Ingeniería Mecatrónica, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Costa Rica. Email: [edgardohb@estudiantec.cr](mailto:edgardohb@estudiantec.cr)

**Olman Ramos-Alfaro**, Departamento de Metrología Física, LACOMET, Costa Rica. Email: [oramos@lcm.go.cr](mailto:oramos@lcm.go.cr)

## Resumen

En este documento se presenta el diseño e implementación de un sistema automatizado de intercambio de patrones de masa de diferente geometría y material. Por medio de la integración de sistemas mecánicos, electrónicos y de control computacional, se construyó un dispositivo capaz de realizar calibraciones de pesas de 1 kg, de clase E2, según la Recomendación R111-1 de la OIML.

**Palabras clave:** Balanza comparadora, Calibración, Masa convencional, Patrón.

## 1. Introducción

Las calibraciones de patrones de masas llevadas a cabo en el Laboratorio de Masas del Laboratorio Costarricense de Metrología (LACOMET) se buscan automatizar, con el fin de aumentar el número de iteraciones realizadas, así como liberar el tiempo del metrologo encargado y potencialmente mejorar los resultados obtenidos. Para ello, se diseñó e implementó un prototipo funcional intercambiador de patrones en una balanza comparadora.

Dicho dispositivo está diseñado para recibir un máximo de cuatro patrones de masa con valor nominal de 1 kg, tanto de forma cilíndrica (acero) como esférica (silicio). El sistema permite colocar sobre una balanza comparadora las pesas en una secuencia previamente programada. Para la validación del funcionamiento de dicho dispositivo se utilizó la comparación directa entre un patrón de referencia (A) y uno de trabajo por calibrar (B), siguiendo un ciclo ABBA [1].

Los resultados obtenidos con el uso del intercambiador de patrones automatizado son

posteriormente comparados contra el Máximo Error Permitido (MEP) para pesas de 1 kg de clase E2 [2], así como resultados de calibración mediante el proceso de calibración manual utilizando los mismos patrones.

## 2. Diseño del Dispositivo

### 2.1 Colocación de los Patrones en la Balanza

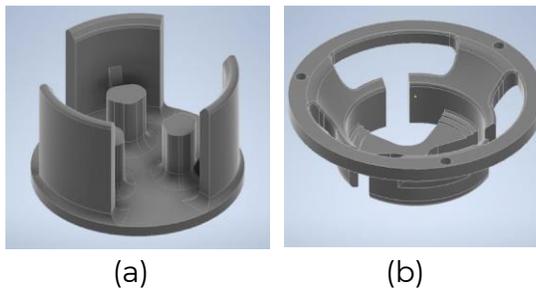
La balanza comparadora utilizada fue la *Sartorius CCE 1005*, la cual permite el intercambio de la base receptora de patrones. Partiendo de esto, y de la geometría de los patrones por utilizar, se diseñó dicha base, la cual se acopla a un receptor de patrones del dispositivo donde estos se colocan inicialmente.

Los patrones por utilizar corresponden a cilindros que varían su diámetro entre 48 mm y 55 mm [2], así como esferas cuyo diámetro se encuentra entre 90 mm y 110 mm. En la Figura 1.a se observa la base receptora de la balanza, cuyas extrusiones calzan con los agujeros del receptor de patrones del intercambiador, mostrado en la Figura 1.b., manufacturados con

---

<sup>3</sup> Autor principal

el material PETG, mediante impresión 3D debido a su compleja forma geométrica y buena resistencia mecánica [3].



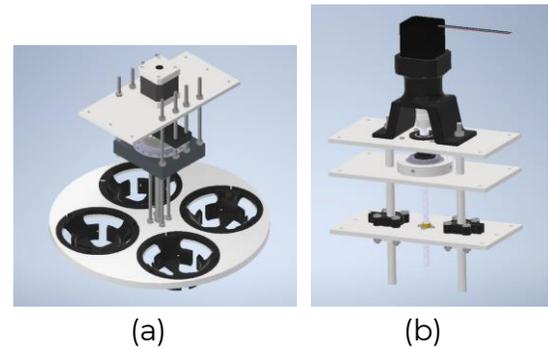
**Figura 1.** (a) Base receptora de patrones de la balanza. (b) Receptor de patrones del dispositivo intercambiador.

## 2.2 Intercambio de Posición de los Patrones

El sistema funciona mediante un disco giratorio de aluminio, el cual soporta los patrones y facilita el intercambio a la posición de la balanza. En el disco se colocan los 4 receptores mencionados en el apartado anterior. El propósito de estos 4 espacios es la posibilidad de realizar métodos algebraicos de comparación [4].

Este disco está conectado a un eje con cuatro barras roscadas para garantizar el nivel plano del disco respecto a la superficie. La potencia para girar este sistema la proporciona un motor a pasos, con un ángulo de paso de  $1,8^\circ$ , el cual es controlado para llevar a los patrones a su posición, según la secuencia de calibración. En la Figura 2.a se observa el diseño del subsistema de rotación descrito.

Una vez que un patrón es llevado a su posición de pesaje, es necesario garantizar su colocación sobre la base receptora de balanza, evitando el roce con el dispositivo para no interferir con la medición de masa. Para ello, el sistema se mueve verticalmente haciendo uso de un tornillo de avance y 2 cojinetes lineales para convertir en lineal el movimiento giratorio proporcionado por un motor a pasos.



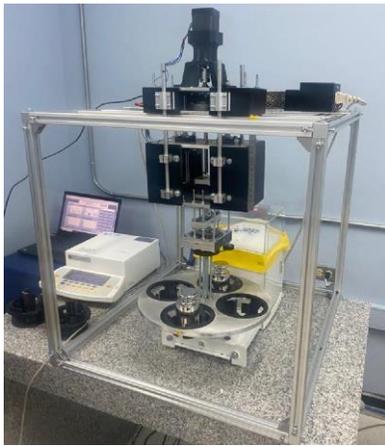
**Figura 2.** (a) Subsistema de rotación. (b) Subsistema de movimiento vertical.

Para el subsistema de movimiento vertical, mostrado en la Figura 2.b, el motor encargado de transmitir la potencia cuenta con una serie de engranajes planetarios acoplados en una relación de 1:51, con el fin de aumentar el torque para el soporte del peso del sistema y los patrones.

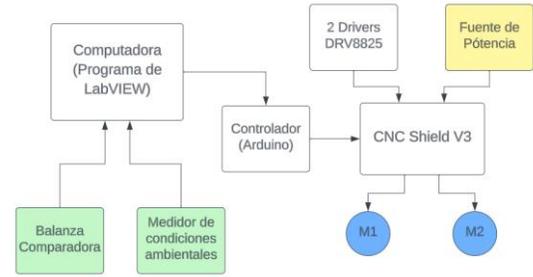
## 2.3 Soporte de la Estructura

Los subsistemas previamente mostrados están construidos con una serie de láminas de aluminio, así como barras tornillos y tuercas. Para el soporte del intercambiador de patrones, se utilizaron una serie de perfiles de extrusión de aluminio que forma una estructura cúbica, sobre la mesa que se coloca la balanza. Fue necesario asegurar un correcto alineamiento entre el dispositivo y la balanza comparadora en la instalación de este.

Para evitar oscilaciones al momento de transferir el patrón del intercambiador a la base receptora, causadas por la integración entre los soportes, y los subsistemas de rotación y movimiento vertical, se añadieron soportes impresos en PETG, los cuales brindan estabilidad al sistema por medio de un conjunto de 4 barras y cojinetes lineales. En la Figura 3 se puede observar el prototipo funcional construido en función del diseño presentado.



**Figura 3.** Implementación del intercambiador de patrones diseñado.



**Figura 4.** Diagrama de primer nivel de conexiones electrónicas del sistema intercambiador de patrones (verde: sensores, azul: actuadores, amarillo: fuente de potencia).

Para controlar los motores con precisión, en función del tipo de movimiento necesario (rotación o vertical), fue requerido relacionar la cantidad de movimiento deseada con el número de pasos que debe realizar cada uno. En la ecuación (1) se muestra la relación del número de pasos del motor vertical ( $N_v$ ), en función de la distancia vertical ( $d_v$ ) que se desea bajar o subir (derivada de las características del motor, el tornillo de avance y el sistema de engranes planetarios acoplados) [5].

$$N_v = 1275 \cdot d_v \quad (1)$$

Así mismo, para el motor de giro, es posible hacer una relación entre el número de pasos necesarios en el motor ( $N_g$ ) y el movimiento angular ( $\theta_g$ ) que se desea que se mueva el disco. La ecuación (2) muestra dicha fórmula obtenida del número de pasos por revolución del motor.

$$N_g = 1,8 \cdot \theta_g \quad (2)$$

## 4. Análisis de Resultados

Con el fin de validar el funcionamiento correcto del sistema intercambiador, se realizaron calibraciones automatizadas con diferentes cantidades de iteraciones, con el fin de comparar su validez respecto a resultados obtenidos con un proceso de comparación

## 3. Programación del Control Lógico

Para el control lógico del intercambiador, se desarrolló un programa en *LabVIEW*, el cual se comunica con la balanza y un medidor de condiciones ambientales, como entradas de las variables independientes del proceso de calibración, y además, se comunica con un microcontrolador *Arduino* para la activación de los actuadores, según el requisito de la secuencia de calibración.

A su vez, el controlador (“esclavo” del programa de *LabVIEW*) se comunica con los motores por medio de una interfaz de potencia, dada por el dispositivo de protección y control *CNC Shield V3* y los *drivers* de los motores (circuito integrado DRV8825). Esta es alimentada por una fuente de 12 V y 10 A, para asegurar la potencia necesaria para el movimiento de ambos actuadores. En la Figura 4 se puede observar el diagrama de conexiones de alto nivel entre los diferentes componentes electrónicos utilizados para el control lógico.

directa manual, con el método ABBA, utilizando un patrón de referencia de clase de exactitud E1 de la OIML y un calibrando de clase exactitud E2, realizado por expertos metrólogos del LACOMET. A continuación, se presentan los resultados obtenidos y su análisis.

En el Cuadro I se muestran los resultados de dos calibraciones manuales, En ambos procesos de calibración se realizaron tres iteraciones, y el promedio de su masa convencional e incertidumbre expandida son la referencia contra la cual se validaron los resultados obtenidos utilizando el intercambiador automático.

**CUADRO I**  
**Resultados de calibraciones manuales como referencia para comparación**

Calibración	Masa convencional (g)	Incertidumbre expandida (mg)
#1	1000,000 27	0,12
#2	1000,000 24	0,14
Promedio	1000,000 25	0,13
Desviación Estándar	0,000 016	0,015

En el Cuadro II se muestran los resultados de la comparación directa, obtenidos por medio del sistema intercambiador para tres calibraciones de 3 iteraciones y una de 10, y utilizando los mismos patrones de masa mencionados anteriormente. Se utilizó el valor de masa convencional [3] con el fin de comparar la precisión de las calibraciones, relacionando el resultado de la incertidumbre final expandida de las calibraciones automáticas con el MEP dado por la recomendación R111-1 de la OIML para pesas clase E2. La columna de error normalizado estima los valores obtenidos al comparar la diferencia entre los valores de la sumatoria de masa de las calibraciones realizadas, tanto manual, como de forma

automática, contra las incertidumbres combinadas de estos valores [6].

Esto con el fin de medir la exactitud de las calibraciones automáticas respecto a los resultados obtenidos en las calibraciones manuales.

**CUADRO II**  
**Comparación de resultados de las calibraciones manuales contra calibraciones automáticas**

Calibración	Masa convencional (g)	U expandida (mg)	E <sup>1</sup> (l)
#1 3 iteraciones	1000,000 09	0,18	0,76
#2 3 iteraciones	1000,000 27	0,25	0,06
#3 3 iteraciones	1000,000 25	0,19	0,01
#4 10 iteraciones	1000,000 17	0,18	0,40

<sup>1</sup>Error normalizado

Para determinar si la precisión de las mediciones obtenidas utilizando el intercambiador automatizado de patrones es aceptable para los estándares del LACOMET, se compara la incertidumbre final expandida de dichas calibraciones con el MEP dado por la Recomendación R111-1 de la OIML para pesas de masa nominal de 1 kg clase E2 (valor correspondiente a la Capacidad de Medición y Calibración (CMC) del Laboratorio de Masas). El MEP para este tipo de pesas corresponde a 1,8 mg, y para que la precisión del proceso sea válida, el resultado de incertidumbre final expandida debe ser menor a un tercio de este valor (0,53 mg) [2]. Como se observa en la tercera columna del Cuadro II, este requisito es cumplido para todas las calibraciones realizadas, independientemente del número de iteraciones completadas.

Por su parte, el error normalizado para cada calibración es menor a 1 en todos los casos, lo cual comprueba la consistencia de los resultados de las calibraciones automáticas con respecto a las manuales. Es decir, se determinó que la exactitud del resultado de masa convencional del patrón de trabajo es óptima.

Finalmente, estas pruebas confirman que la repetibilidad del proceso automático cumple con los estándares definidos para la clase de exactitud propuesta para análisis en esta implementación. Así mismo, la realización de una calibración automática (10 iteraciones, o más) permite aumentar la cantidad de repeticiones respecto a las que se llevan a cabo en los procesos manuales (entre 3 y 5). Esto mejora la repetibilidad del proceso, reduciendo un potencial error humano a mayor número de iteraciones. Finalmente, de forma exitosa, se automatizó el proceso de calibración con el método de comparación ABBA, evitando la influencia de los operarios en este procedimiento (únicamente para la colocación inicial, y retiro, de los patrones en los receptores del dispositivo).

## 6. Referencias

- [1] Laboratorio Costarricense de Metrología, “Calibración de pesas por los métodos de comparación directa, Versión 4”, GS-MA-PR-01, 2022.
- [2] Organización Internacional de Metrología Legal (OIML), “Recomendación Internacional OIML R 111-1”, Conferencia Internacional de Metrología LEGAL, Berlín, Alemania, 2004.
- [3] S. Valvez, A. Silva y R. Paulo, “Optimization of Printing Parameters to Maximize the Mechanical Properties of 3D-Printed PETG-Based Parts,” *Polymers*, vol. 14, n° 2564, 2022.
- [4] Laboratorio Costarricense de Metrología, “Métodos Algebraicos, Calibración por Subdivisión, Versión 1,” GS-MA-DT-01, 2015.R.
- [5] Budynas y K. Nisbett, “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley”, Novena ed., México D.F.: McGraw Hill, 2011.
- [6] Organización Internacional de Normalización. (2022). Statistical methods for use in proficiency testing by interlaboratory comparison (ISO 13528). <https://www.iso.org/standard/78879.html>

## 5. Conclusiones

- El dispositivo intercambiador de patrones automático permitió la calibración de pesas de 1 kg, garantizando una precisión necesaria para la calibración de masas de clase de exactitud E2 de la OIML.
- Las calibraciones realizadas con el intercambiador automatizado permitieron obtener resultados congruentes de masa del patrón de trabajo, respecto a las calibraciones manuales de referencia realizadas por operarios del LCM.
- Los resultados obtenidos con el dispositivo diseñado permitieron cumplir con la CMC declarada del Laboratorio de Masas del LACOMET para pesas de 1 kg, la cual corresponde a una incertidumbre final expandida menor a 0,53 mg.
- Las comparaciones realizadas con el sistema implementado confirman la automatización del proceso de calibración de pesas y el aumento del número de iteraciones posibles respecto al proceso manual.

# Comportamiento e indicadores en el consumo de agua potable

Luis Diego Guzmán-Guillen, *Departamento de Metrología Física. LACOMET, Costa Rica. Email: [lguzman@lcm.go.cr](mailto:lguzman@lcm.go.cr)*

## Resumen

Este artículo presenta un análisis del comportamiento del consumo de agua potable para 58 países y selecciona indicadores que pueden ser utilizados en una métrica del consumo de agua.

**Palabras clave:** consumo de agua per cápita, consumo estándar de accesorios.

## 1. Introducción

El consumo de agua potable se encuentra correlacionado directamente a múltiples factores que hacen variar la cantidad de agua apta para el consumo humano que utiliza una persona. Estos factores son analizados en diversos artículos, entre los cuales se pueden citar: factores culturales, la disponibilidad de suministro, el estrato socioeconómico, la cantidad de miembros cohabitando el hogar, el tipo de hogar (urbano o rural), entre muchos otros factores [1]. Adicionalmente, el consumo de agua está inversamente relacionado con la lluvia y positivamente relacionado con la temperatura [2]; afectado por la estación del año, que puede variar según la zona geográfica en cuatro estaciones o dos estaciones en otras, (ejemplo de lo último es Costa Rica, que cuenta con estación seca y estación lluviosa, afectado por fenómenos como el niño o la niña).

Este estudio busca analizar el comportamiento del consumo de agua entre 58 países, los cuales presentan diferencias en los factores correlacionados con el consumo del agua y los cuales fueron mencionados anteriormente. El

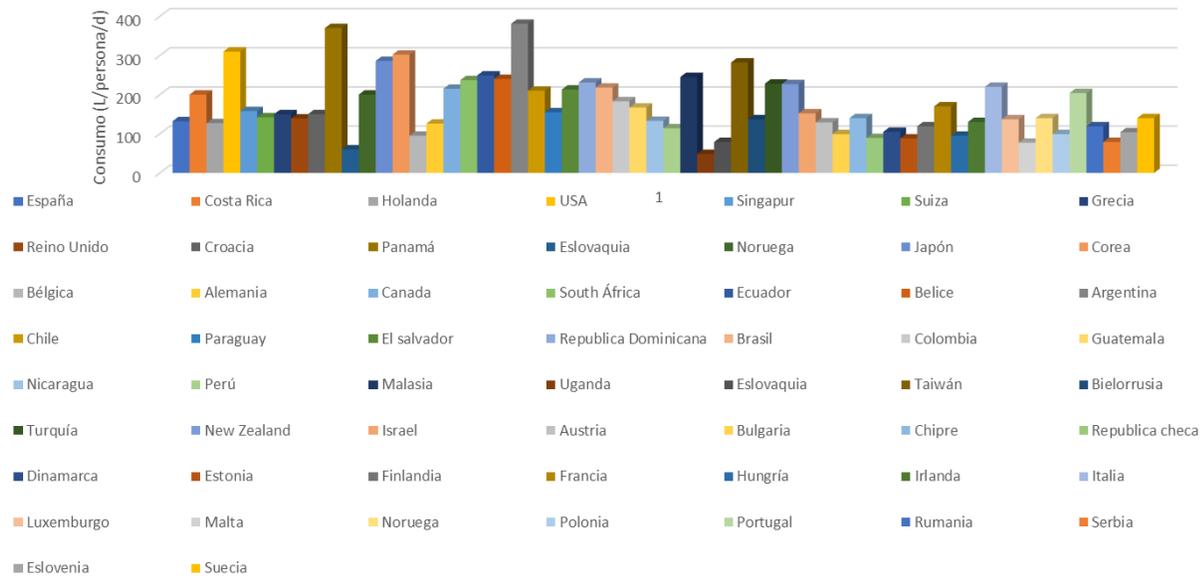
método utilizado para recopilar dicha información fue la investigación bibliográfica, utilizando datos provenientes de entidades de gobierno, artículos científicos, estadísticas nacionales e internacionales entre otros, según su disponibilidad.

Es importante señalar que, debido a la falta de homologación en la metodología para determinar el consumo de agua, los datos estadísticos recopilados pueden diferir en aspectos metodológicos como el año de reporte, la técnica de muestreo, el tamaño de la muestra, entre otros.

Se espera que los resultados del presente artículo puedan ser utilizados para establecer indicadores y un marco de referencia que permita determinar potenciales posibilidades de ahorro en el consumo de agua potable y una base para la generación de una métrica y objetivos a plazo definido.

## 2. Consumo diario per cápita de agua potable

El primer dato estadístico seleccionado fue el consumo de agua potable por persona por día.



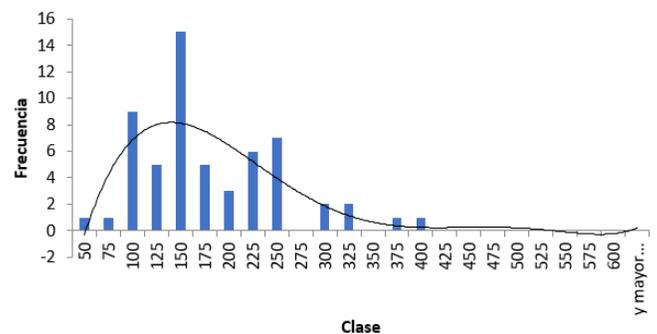
**Figura 1.** Consumo de agua potable para 58 países distintos en L/(persona d).

Para este indicador, las unidades utilizadas fueron litros por persona por día (L/(persona d)). En la Figura 1 se muestra el resumen del consumo de agua diario por persona de los 58 países seleccionados en el estudio [3], [4], [5].

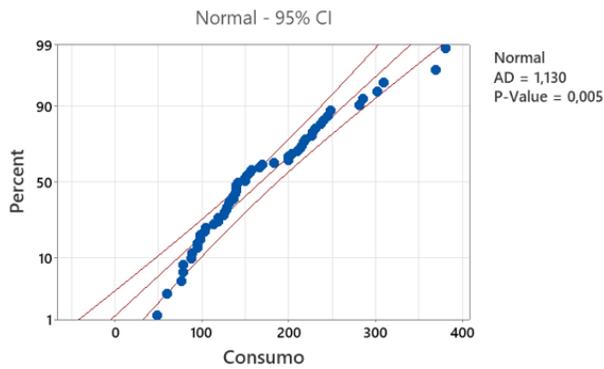
Con el fin de determinar el mejor estimador del consumo y su dispersión, inicialmente se agruparon los datos en clases de igual tamaño. Al hacer un análisis estadístico exploratorio inicial a este conjunto de datos, con la prueba de asimetría estandarizada se genera un valor de 0,85; esto indica que el conjunto de datos presenta una asimetría hacia la izquierda. Adicionalmente, una prueba de curtosis muestra un valor de 0,53; lo cual reafirma la indicación de que los datos tienen un comportamiento con una cola superior más pesada con respecto de la curva de comportamiento normal. Esto es evidenciado de manera visual en el histograma de la Figura 2.

Seguidamente, para determinar la distribución de probabilidad que mejor representa la serie de datos, se utilizó la prueba de bondad de ajuste mediante la técnica de Anderson

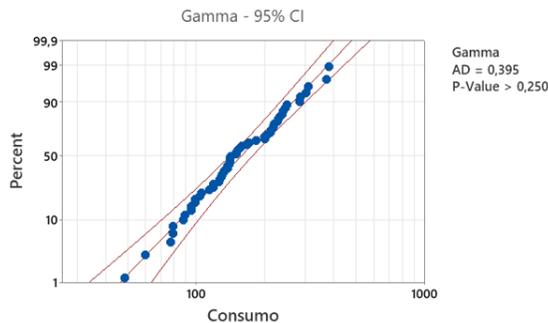
Darling realizada mediante el software Minitab, cuyos resultados son mostrados en la Figura 3, para dos distribuciones de probabilidad distintas. La Figura 3.a indica que para el comportamiento normal el valor p es menor que el valor de significancia estadística definido en 0,05 %, con lo cual se puede descartar esta distribución definitivamente, mientras que en la Figura 3.b, la prueba indica que el comportamiento descrito por una distribución de probabilidad gamma no queda rechazado, ya que el valor p tiene un valor más alto que el valor de significancia estadística definido en 0,05 %.



**Figura 2.** Histograma para los datos agrupados del consumo de agua para 58 países, en L/(persona d).



(a)



(b)

**Figura 3.** Pruebas de Anderson Darling para (a) función de distribución normal y (b) función de distribución gamma, para el conjunto de datos agrupados del consumo de agua diario per cápita de 58 países.

La distribución gamma es utilizada para modelar comportamientos físicos que toman valores positivos, también al tomar en cuenta los resultados de las pruebas anteriores, se seleccionó esta distribución como la que mejor se ajusta al comportamiento de los datos.

Finalmente, para la serie de datos de consumo se utiliza la mediana como el mejor estimador central para esta distribución asimétrica, la cual tiene un valor de 150 L/(persona d), con un intervalo de variación entre -60 % y +166.7 %, para una cobertura de confianza del 95 %. Lo anterior, estimado con el método de Monte Carlo mediante la máquina de incertidumbre del Nist [6], los resultados son mostrados en el Cuadro I. Con este análisis se puede expresar de mejor manera la incertidumbre (en

intervalos) para un comportamiento asimétrico y establecer la mediana como el mejor estimador que se separa en 19 L/(persona día) por debajo del promedio.

En comparación, el mejor estimador central calculado por este método es menor que el consumo de agua potable estimado para Costa Rica, según la “Guía práctica para el uso eficiente del agua en el sector público” (200 L/(persona d)) [7], y superior a la recomendación de la OMS para cubrir las necesidades básicas y de salud (entre 50 L/(persona d) y 100 L/(persona d)) [8].

**CUADRO I**  
**Resultado Método Monte Carlo para el consumo de agua para 58 países**

Descripción	Valor L/(persona d))
Promedio	169
Mediana	150
Desviación típica	73,5
Límite inferior incertidumbre	60
Límite superior incertidumbre	400

### 3. Consumo diario per cápita de agua potable por actividad

El segundo dato estadístico seleccionado es el consumo diario per cápita de agua potable por actividad. Para este indicador las unidades utilizadas son nuevamente L/(persona d). Los

datos son provenientes de 12 estudios, y 6 ciudades y sitios del mundo [5], [9], [12].

En el Cuadro II se resumen los valores promedio correspondientes a este indicador para diferentes actividades, de manera porcentual. Se asume una distribución T al ser realizada con una menor cantidad de datos disponibles. Seleccionando de la información 5 distintas actividades o accesorios de mayor uso en el hogar.

Estos corresponden al uso de la ducha, el inodoro, los grifos, el lavado de ropa y las fugas [5], [6], [7]. La dispersión de los datos se estimó como la desviación estándar muestral con un factor de cobertura del 95 % de probabilidad.

**CUADRO II**  
**Consumo de agua potable porcentual por actividad**

<b>Actividad</b>	<b>Valor (%)</b>
Ducha	(27,0 ± 4,6)
Inodoro	(23,0 ± 3,2)
Grifo	(16,8 ± 2,9)
Fugas	(10,4 ± 4,7)
Lavado ropa	(17,7 ± 2,4)
Otros	(5,1 ± 0,8)

Basado en los resultados del mejor estimador para el consumo diario per cápita de agua potable para los 58 países y los datos del consumo diario per cápita de agua potable porcentual por actividad (o accesorio), es posible estimar el consumo volumétrico diario per cápita por actividad (o accesorio) y la

incertidumbre estimada con el método de Monte Carlo [6] y expresado en forma de intervalo para una probabilidad del 95 %, el cual es mostrado en el Cuadro III.

**CUADRO III**  
**Consumo volumétrico diario per cápita de agua potable por actividad**

<b>Actividad</b>	<b>Consumo (L/(persona d))</b>	<b>Límite inferior incertidumbre (%)</b>	<b>Límite superior incertidumbre (%)</b>
Ducha	40,4	-75,3	172,0
Inodoro	34,5	-68,2	160,6
Grifo	25,2	-62,7	144,3
Fugas	15,6	-100,0	226,9
Lavado ropa	26,5	-68,7	160,4
Otros	7,7	-100,0	159,7

## 4. Estándares de accesorios

El Cuadro IV muestra estándares de consumo de agua potable para diversos accesorios bajo condiciones estándar [10], [11], estos son accesorios de la instalación mecánica de agua potable dentro del hogar. Estos datos, al ser comparados con el indicador de consumo de agua potable por actividad, permiten generar algunas conclusiones y patrones de consumo.

**CUADRO IV**  
**Estándares de consumo en accesorios.**

<b>Accesorio</b>	<b>Consumo</b>	<b>Unidad</b>
Ducha normal	9,46	L/min
Ducha alta eficiencia	7,57	L/min
Orinal Norma	3,80	L/descarga
Orinal alta eficiencia	0,50	L/descarga
Inodoro normal	6,00	L/descarga
Inodoro alta eficiencia	3,80	L/descarga
Lavadora ropa normal	87,06	L/ciclo
Lavadora ropa alta eficiencia	49,21	L/ciclo

Por ejemplo, al tomar el accesorio de mayor consumo, en este caso la ducha, una persona que dure 4,2 min al día, consume un volumen igual al promedio de agua utilizada para los 58 países por día. Pero al valorar el límite superior de incertidumbre del consumo en este accesorio puede utilizarse hasta 11,5 minutos en promedio, utilizando hasta 110 L de agua al día por persona. Esta variabilidad de tiempo

permite ahorrar si se efectúan cambios de comportamiento en el uso del recurso.

Al igual si se toma el accesorio con el segundo mayor consumo, para este caso el inodoro, la cantidad promedio utilizada es de 38,8 L de agua para los 58 países, que representan aproximadamente 6 descargas en un inodoro normal al día. Pero si se utiliza un inodoro de alta eficiencia se puede disminuir el consumo aproximadamente en 12 L de agua por persona, con igual cantidad de 6 descargas al día. Esto equivale aproximadamente a un 31 % de ahorro. Caso similar presentado en orinales y máquinas de lavado de ropa.

## 5. Conclusiones

- Se evidenció una alta dispersión en el consumo diario per cápita de agua, lo cual evidencia grandes diferencias entre los países de mayor consumo con los de menor. Esta alta dispersión con asimetría hacia la izquierda indica una mayor cantidad de países consumiendo por debajo del mejor estimador y una menor cantidad de países consumiendo por arriba de éste.
- Costa Rica presenta un consumo de agua más alto que la mediana de los 58 países considerados en el presente estudio.
- El indicador de consumo de agua por actividad muestra los puntos de mayor consumo (duchas e inodoro) y que inicialmente se pueden enfocar planes de ahorro de agua para generar una disminución notable en el consumo.
- Algunos cambios de comportamiento de los usuarios sumado a la utilización de accesorios de alta eficiencia pueden generar ahorros importantes de agua.

## 6. Referencias

- [1] G. Ramírez, G. Soto, L. May, B. Acosta and F. Sánchez. “Estimación de los factores y funciones de la demanda de agua potable en el sector doméstico en México” octubre 2012
- [2] Jiménez, D. Cossío, D. Orrego, S. Vázquez, F. Ponce. R. “Efecto de la variabilidad climática sobre la demanda de agua para uso residencial urbano: el caso de la ciudad de Manizales, Colombia”. 2017
- [3] “The government of the water services in Europe,” 2020.
- [4] C. Garcimartin, J. Astudillo and O. Garzonio, “El agua en la economía de Panamá”. Departamento de Países de Centroamérica y República Dominicana. Abril 2020
- [5] W. Deoreo, P. Meyer and J. Kiefer. “Residencial end uses of the water Version2,” Water Research Foundation. 2016.
- [6] National Institute of Standard and Technology. “Nist uncertainty Machine”, Octubre 2023. [en línea]. Disponible en: <https://uncertainty.nist.gov/>
- [7] C. Andrés; “Guía práctica para el uso eficiente del agua en el sector público costarricense”.
- [8] Organización de las Naciones Unidas, “The Human Right to Water and Sanitation” 2010 .
- [9] N. Hosoi, T. Horii, K. Sato. “Clarification of the actual condition of water use classified by purpose at home in Tokyo by water amount measurement” Bureau of Waterworks. 2015
- [10] Instituto de normas técnicas de Costa Rica, “INTE C171:2016”. Disponible en <https://erp.inteco.org/blog/noticias-2/hogares-ticos-consumen-mas-agua-que-resto-de-centroamericanos-146>.
- [11] “Water Efficiency Management Guide Residential Kitchen and Laundry,” Environmental Protection agency. Noviembre 2017.
- [12] “High-Efficiency Lavatory Faucet Specification Supporting Statement” Environmental Protection agency. Octubre 2007.