

COMPETENCIA TÉCNICA EN LABORATORIOS DE ENSAYOS ANALÍTICOS. EXPERIENCIAS DE LA UNIDAD DE GESTIÓN DE LOS SERVICIOS CIENTÍFICO- TÉCNICOS DECA

Technical competence in analytical testing laboratories. Experiences of the DECA scientific-technical services management unit.

Ma. del Carmen Espinosa Lloréns^a, Matilde López Torres^a, Bárbara Luna Saucedo^a, Yadiana León Hernández^a

^a Unidad de Gestión de los Servicios Científico-Técnicos DECA. Dirección de I+D+i. Centro Nacional de Investigaciones Científicas. La Habana. Cuba. maria.espinosa@cnic.cu

Recibido: 30 de octubre de 2020.

Aceptado: 21 de diciembre de 2020.

RESUMEN

Un laboratorio debe producir datos analíticos de precisión y confiabilidad suficientes en un plazo aceptable y a un costo admisible. Para los laboratorios acreditados por la norma 17025 este objetivo cobra una importancia mayor, siendo la participación en Ensayos de Aptitud (EA), como control de la calidad externo, la forma superior de demostrar su competencia técnica. El DECA (anteriormente Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental, hoy en día, Unidad de Gestión de los Servicios Científico-Técnicos DECA (UG SCT-DECA)) perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba, con larga tradición de trabajo en el campo del medioambiente (entre ellos la caracterización de aguas, aguas residuales y residuos sólidos), logró su primera acreditación por el Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba (ONARC) en 2001 y ha mantenido una participación regular en EA. El objetivo del presente trabajo es demostrar la competencia técnica de la Unidad de Gestión de los Servicios Científico-Técnicos DECA (UG SCT-DECA) en los servicios analíticos que brinda, mediante los resultados que ha obtenido en la participación continuada en Ensayos de Aptitud. Teniendo en cuenta los EA (nacionales e internacionales) en el período 2008-2019, se emplearon diferentes indicadores para medir el desempeño en los mismos, así como herramientas gráficas que permitieran visualizar el comportamiento en el tiempo. Se pudo evidenciar la competencia técnica mantenida por el DECA en los servicios analíticos que brinda, fortaleciendo con ello la calidad y confiabilidad de los resultados que entrega a sus clientes, lo que ha permitido la fidelización de una apreciable cantidad de ellos.

Palabras clave: Ensayos de Aptitud; competencia técnica; laboratorio analítico; confiabilidad; ISO/IEC 17025; fidelización.

ABSTRACT

A laboratory must produce analytical data of sufficient precision and reliability within an acceptable time frame and at an allowable cost. For laboratories accredited by the 17025 standard, this objective becomes even more important, being the participation in Proficiency Testing (PT), as external quality control, the superior way of demonstrating their technical competence. DECA (formerly the Department of Studies on Environmental Pollution, today the Scientific-Technical Services Management Unit DECA), belonging to the National Center for Scientific Research in Cuba, with a long tradition of work in the field of the environment (including the characterization of water, wastewater and solid waste), achieved its first accreditation by the National Accreditation Body of the Republic of Cuba (ONARC, acronym in Spanish) in 2001 and has maintained a regular participation in PT. The objective of this work is to demonstrate the technical competence of the Unit of Management of Scientific-Technical Services (UG SCT-DECA, acronym in Spanish) in the analytical services it provides, through the results it has obtained from its continued participation in PT. Taking into account the PTs (national and international) in the period 2008-2019, different indicators were used to measure their performance, as well as graphic tools that allowed to visualize the behavior over time. The evidence demonstrates the technical competence maintained by DECA's analytical services, strengthening the quality and reliability of the results it brings to its clients, which has allowed the faithfulness of a considerable number of them.

Keywords: Proficiency testing; technical competence; analytical lab; reliability; NC-ISO/IEC 17025; faithfulness.

INTRODUCCIÓN

El principal objetivo de un laboratorio es producir datos analíticos de calidad y confiabilidad suficientes en un plazo aceptable y a un costo admisible, independientemente del marco donde se desenvuelva y de los clientes externos o internos que recibirán los resultados de los ensayos que ejecute. Este objetivo es una prioridad mayor si se han acreditado por la norma ISO/IEC 17025, la que se aplica como la guía práctica para la evaluación de la conformidad de los requisitos de calidad y competencias técnicas, teniendo en cuenta que ésta exige que demuestre capacidad técnica y asegure la confiabilidad de sus resultados.

En esta norma internacional, los Ensayos de Aptitud (EA) se consideran una herramienta clave para establecer la validez de los resultados de los laboratorios de ensayo o de calibración, siendo un pre-requisito para lograr su acreditación. Con esta exigencia por parte de los órganos de acreditación se percibe que los EA son necesarios en la rutina de organismos de evaluación de la conformidad como los laboratorios, que buscan su calificación y el reconocimiento de terceras partes. Mediante la participación regular en programas de EA es posible verificar las competencias y tener pruebas objetivas del buen desempeño del laboratorio. (Sorbo *et al*, 2019; ONARC-a, 2019; ONN, 2018; de Medeiros Albano, 2016; de Medeiros Albano & Schwengberten, 2014).

Por ello, dentro del sistema de gestión de la calidad (SGC) del laboratorio debe quedar establecido un programa de control de la calidad, interno y externo, para el aseguramiento de la validez de los resultados. El control de la calidad externo se efectúa, por lo regular, con la participación en EA que tienen como objetivo evaluar la competencia técnica de los laboratorios participantes (ONARC-a, 2019) incluyendo una comparación regular de los resultados de un laboratorio con los de otros a través de la distribución de muestras homogéneas y estables a los participantes y permitiendo evaluar las incertidumbres de los ensayos, su veracidad y precisión.

El número de laboratorios que participan lo determina la entidad organizadora del EA. La inscripción en ellos es libre ya que se trata de ensayos que, por norma general, son abiertos, posibilitando que todos los interesados tomen parte, sea cual sea la experiencia de estos, a excepción de los laboratorios acreditados que lo deben hacer, obligatoriamente, para poder mantener su acreditación (ONARC-b, 2019). Los EA se han convertido en un aspecto esencial de la práctica de los laboratorios en todos los campos de ensayo, calibración e inspección. Estos programas varían de acuerdo con las necesidades del sector en el que se usan, la naturaleza de los ítems, los métodos en uso y el número de participantes. (ONARC-a, 2019; Ternero Piña, 2017; Olabarri Powell, 2015; ONN, 2011).

De acuerdo a como se describe en la norma NC-ISO/IEC 17043:2011 (ONN, 2011), los resultados de la evaluación de desempeño pueden ser una herramienta para identificar problemas relacionados con procedimientos inadecuados de ensayo, la formación y supervisión del personal o la calibración de los equipos; proporcionar confianza adicional a los clientes de los laboratorios; identificar diferencias entre participantes y validar las estimaciones de incertidumbre declaradas por éstos. Por lo regular, los datos son evaluados en términos del indicador llamado “*puntuación z*” (*z-score*, en inglés). Los laboratorios no sólo deben usar la valoración de calidad externa para evaluar su sesgo, sino también para verificar la validez de su sistema de calidad en su totalidad.

Hoy en día, resulta crucial la competencia técnica de aquellos laboratorios relacionados con ensayos ambientales, cobrando una importancia particular la calidad y la confiabilidad de los resultados que los mismos entregan a sus clientes. Esto es debido a que, en la mayoría de los casos, estos resultados se emplearán para demostrar o no el cumplimiento de la normatividad ambiental relacionada con ese campo, la obtención de licencias ambientales o la evaluación de plantas de tratamiento de aguas residuales, entre otros.

En la literatura aparecen múltiples artículos científicos relacionados con los EA en aguas y aguas residuales (Demircioglu & Karapınar, 2020; Martín, Ramos Izquierdo, Asuero, 2018; Björklöf, *et al.*, 2017; Fernandes-Whaley, Prevoo-Franzsen, Quinn y Nhlapo, 2015; Drolc, Cotman, Ros, Majcen, 2006; Cotman, Drolc, Roš, 2003) teniendo como analitos diferentes parámetros físico-químicos (pH, CE y salinidad); nutrientes (nitrógeno amoniacal y fósforo total), aniones (cloruros, nitritos, nitratos y sulfatos), metales (mercurio, cadmio, cobre, níquel, plomo y cromo VI), parámetros globales (DQO y DBO₅), compuestos organoclorados y drogas anti-inflamatorias, entre otros, que demuestran la pertinencia de la ejecución de estos ejercicios en laboratorios de ensayos de aguas y aguas residuales.

El DECA (anteriormente Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental, hoy en día, Unidad de Gestión de los Servicios Científico-Técnicos DECA (UG SCT-DECA)), perteneciente al Centro Nacional de Investigaciones Científicas de Cuba, con larga tradición de trabajo en el campo del medioambiente (entre ellos la caracterización de aguas, aguas residuales y residuos sólidos), se acreditó por primera vez en el año 2001 y, desde entonces, ha venido participando en EA demostrando un buen desempeño. Sin embargo, no siempre se ha podido acceder a un EA cuyos proveedores estén acreditados como tales o, por lo menos, sean reconocidos por ONARC como sus coordinadores, requisito que el laboratorio debe cumplir si está acreditado o en vías de hacerlo. Aún en los momentos en que la actividad de EA no se exigía de la misma forma por la norma 17025 y por los organismos de acreditación internacionales y nacionales como hoy en día, el DECA participaba en estudios interlaboratorios o los coordinaba (Espinosa, *et al.*, 2009; Espinosa & Mayarí, 2005; Espinosa, Mayarí, Díaz, Suárez, 2005; Espinosa, Mayarí, Díaz, Suárez, Rodríguez, 2004), denotando la importancia que siempre dio a estos ejercicios, como forma de demostrar y controlar su competencia técnica.

Esta competencia técnica, cuando es demostrada y mantenida se convierte en la herramienta más importante para lograr la fidelización de los clientes. No existe un concepto único de fidelización. Sin embargo, se puede resumir que es un concepto de marketing. La fidelización es el fenómeno por el cual un determinado cliente continúa fiel a la compra de un producto de una marca concreta o servicio de forma continua, consiguiendo así una relación estable y continuada. En particular, las estrategias de fidelización están siendo muy adecuadas para el ámbito de los servicios, ya que ofrecen mayores oportunidades para poder desarrollarlas. Por lo tanto, la fidelización requiere no sólo el uso de métodos y herramientas sino también una fuerte voluntad por parte de la empresa de dirigir totalmente su trabajo a la satisfacción del cliente (Setó, 2003; Guadarrama Tavira & Rosales Estrada, 2015).

El objetivo del presente trabajo es demostrar la competencia técnica de la UG SCT-DECA en los servicios analíticos que brinda, mediante los resultados que ha obtenido en la participación continuada en Ensayos de Aptitud, logrando la fidelización de una parte importante de sus clientes.

Materiales y Métodos

Participación en Ensayos de Aptitud.

Se procesaron los resultados obtenidos por el Laboratorio durante su participación en EA durante más de 10 años (período 2008-2019), según aparecen en los informes enviados por los proveedores correspondientes. (ENAS, 2019; ENAST-a, 2018; ENAST-b, 2018; ENAST, 2017; Mol Labs, 2017; ENAST, 2015; ENAST, 2014; IBMETRO, 2008). Son EA con proveedores acreditados o reconocidos por el ONARC, lo que garantiza la confianza en su proceder como tales.

Evaluación de los resultados en los Ensayos de Aptitud.

Existen diferentes indicadores que se usan para la evaluación de los resultados que cada laboratorio participante ha obtenido en un EA y que el proveedor de los mismos emplea en el procesamiento de los datos. La más usual es la *puntuación z*.

Puntuación z

La *puntuación z*, es un indicador de desempeño analítico y constituye una medida de cuán alejado está un resultado del valor de consenso en términos relativos a la dispersión de los valores (ONN, 2011). Este indicador fue calculado por los proveedores de cada EA para todos los participantes mediante la fórmula 1:

$$z = \frac{x_i - x^*}{s^*} \quad (1)$$

Donde:

x_i es el valor promedio obtenido por cada laboratorio participante en un parámetro; x^* : valor asignado; s^* : desviación estándar para la evaluación de la aptitud.

Los resultados de los laboratorios se evalúan de acuerdo a la siguiente escala:

Satisfactorios, si $|z| \leq 2$; Cuestionables, si $2 < |z| < 3$; No satisfactorios, si $|z| \geq 3$

La evaluación aparece en el Informe Final que el proveedor entrega a sus clientes (laboratorios participantes del EA). Esta información se usó en el desarrollo del trabajo.

Puntuación zeta.

El parámetro *zeta* se calcula a partir de la expresión (ONN, 2017) para aquellos laboratorios que comunican sus incertidumbres:

$$zeta = \frac{x_i - x^*}{\sqrt{u_{x_i}^2 + u_{x^*}^2}} \quad (2)$$

Los gráficos de esta puntuación obtenidos por los laboratorios participantes, conjuntamente con los gráficos de los intervalos definidos por sus resultados y sus propias incertidumbres, les permiten comparar las estimaciones de incertidumbre entre sí.

Se emplea el mismo código que para las representaciones de z , o sea, los trazos en líneas discontinuas para señalar los límites de alerta ($zeta = \pm 2$) y los trazos con líneas continuas gruesas para los límites de alerta ($zeta = \pm 3$).

La puntuación $zeta$ no reemplaza a la puntuación z . El parámetro $zeta$ caracteriza la calidad del análisis de fuentes de incertidumbre y su capacidad de cubrir el valor asignado, mientras que z caracteriza la posición de cada laboratorio con respecto al desempeño del resto. Las puntuaciones $zeta$ se interpretan de la misma forma que las puntuaciones z , es decir:

Satisfactorios, si $|zeta| \leq 2$;

Cuestionables si $2 < |zeta| < 3$;

No satisfactorios si $|zeta| \geq 3$.

A su vez, en la NC-ISO 17043:2011 (ONN, 2011) se explica que, entre las estadísticas de desempeño se encuentran la Diferencia o sesgo del laboratorio y la Diferencia Porcentual, las que fueron calculadas en el presente trabajo según:

Diferencia (D) o sesgo del laboratorio

La diferencia, D , se calcula utilizando la ecuación (3):

$$D = (x - X) \quad (3)$$

donde: x es el resultado del participante; X es el valor asignado.

La diferencia simple entre el resultado del participante (x) y el valor asignado (X) puede ser adecuada para determinar el desempeño, y es fácilmente entendible por los participantes. Este valor se denomina “estimación del sesgo del laboratorio” en las Normas NC-ISO 5725-4 (ONN-b, 2005) y NC-ISO/IEC 13528 (ONN-b, 2017).

Diferencia porcentual o relativa

La diferencia porcentual o relativa, $D\%$, se calcula utilizando la ecuación siguiente:

$$D_{\%} = \frac{(x - X)}{X} \times 100 \quad (4)$$

Es decir, es la diferencia o sesgo del laboratorio, pero expresada en porcentaje, lo que la hace aplicable a todo el intervalo de concentraciones que se haya evaluado.

Evaluación del desempeño en los EA a lo largo del tiempo

Para ello se emplearon gráficos de control de Shewart, para los valores de la *puntuación z* obtenidos por el laboratorio durante el tiempo, para cada analito. Se emplearon como límites los mismos que se aplican en los gráficos de *puntuación z*, es decir $\pm 2,0$ y $\pm 3,0$.

Evaluación global del EA con participación en varios parámetros

Siguiendo la recomendación que aparece en la NC-ISO/IEC 17043 (ONN, 2011), la puntuación de desempeño combinada que se empleará, en los casos en que el laboratorio participó en un EA con más de un analito, es el porcentaje de resultados que se determinaron como aceptables.

Herramientas gráficas

En algunos de los EA en que el DECA ha participado, los proveedores emplearon los gráficos de Youden, que permiten evaluar la precisión y la veracidad de los resultados del laboratorio. Este tipo de gráfico es una herramienta eficaz para interpretar el desempeño, según aparece en la norma NC-ISO/IEC 13528 (ONN-b, 2017).

Fidelización de los clientes

La fidelización puede medirse a partir de diferentes criterios. Para el presente estudio se tendrán en cuenta los clientes que repiten su solicitud o solicitan nuevos servicios manteniendo al DECA como proveedor de los servicios ambientales.

Resultados y Discusión

Ensayos de Aptitud en que ha participado el DECA.

En la tabla 1 aparece la información sobre los Ensayos de Aptitud (EA) en que el DECA participó en el periodo 2008-2019. Todos los ejercicios tuvieron “agua” como matriz, en la mayoría aguas limpias o embotelladas y sólo en un 25% la matriz fue agua residual. En dos ocasiones, los proveedores de los EA fueron extranjeros (Colombia y Bolivia). En el resto de las ocasiones, los EA fueron organizados por ENAST (Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos, ahora ENAS, Empresa Nacional de Análisis del Agua), coordinador aprobado por ONARC, y que se encuentra en vías de acreditarse, lo que lo convertiría en el primer proveedor de EA acreditado en Cuba. Al respecto, en la tabla 1 también se puede observar cómo el número de participantes en los EA nacionales ha ido en ascenso, lo cual les confiere una fortaleza adicional a estos ejercicios. Para los laboratorios cubanos que tienen en su alcance los ensayos de aguas y aguas residuales será una ventaja poder contar con un proveedor acreditado, lo que haría más expedito el cumplimiento de la normatividad vigente relacionada con la acreditación de los laboratorios de ensayo, ya sea la propia 17025 (ONN, 2018) o la Política de Ensayos de Aptitud del ONARC (ONARC-a, 2019).

Los analitos con que el DECA ha participado en los EA han estado en dependencia de la oferta de los proveedores, del alcance del DECA y de las condiciones existentes en el momento de ejecución de dichos ejercicios. La mayor frecuencia de participación ha sido en

los ensayos de pH y Conductividad Eléctrica (CE), debido a que son analitos que se ofrecen tanto cuando la matriz es agua limpia o natural como agua residual.

Es necesario resaltar que ambos indicadores son parámetros muy importantes en el campo de las aguas y las aguas residuales, encontrándose incluidos entre las mediciones obligatorias dentro de las normas de agua potable, vertimiento de aguas residuales y otras (ONN-a, 2017; ONN, 2014; ONN, 2012; ONN, 2007). Todo ello hace evidente la necesidad de confiabilidad en estas mediciones en particular.

Por el contrario, ha sido mucho menor la oportunidad de participar en ensayos específicos de indicadores de aguas residuales, como DQO, DBO₅, diferentes tipos de Sólidos, nutrientes como Fósforo y Nitrógeno y otros, fundamentalmente debido a que no existen proveedores nacionales acreditados en EA de Aguas, existiendo actualmente sólo ENAS como coordinador reconocido por ONARC, Esta empresa sólo ha incluido aguas residuales en sus rondas de EA recientemente.

Son estos, aspectos sobre los que el laboratorio debe buscar alternativas dado que algunos de esos indicadores (DQO y DBO₅) se encuentran dentro del Alcance, es decir, son ensayos acreditados y deben cumplir la Política de EA (ONARC-a, 2019). Estas alternativas pudiesen ser la participación en EA internacionales, lo que implica complicaciones adicionales, no sólo por las tramitaciones para la contratación de esos servicios a proveedores extranjeros y las mayores erogaciones monetarias, sino también por lograr la importación en tiempo de esos tipos de muestras, cumplimentando las regulaciones aduanales.

Comportamiento de los resultados del DECA en la participación en EA.

Aplicación de gráficos de control

En la normatividad relacionada con los EA (ONN-b, 2017; ONN, 2011), en organizaciones europeas de laboratorios (Sorbo, 2012) así como los propios proveedores o coordinadores de estos ejercicios (ENAS, 2019), recomiendan a los laboratorios que construyan gráficos de control de sus resultados a lo largo del tiempo, de modo que puedan detectar tendencias que sea necesario corregir, sirviendo de oportunidades de mejora. En este tipo de gráficos, cuando un participante reporta un resultado que da lugar a una *puntuación z* superior a 3,0 o inferior a -3,0, entonces puede considerarse que el resultado da lugar a una *señal de acción*. Así mismo, una *puntuación z* superior a 2,0 o inferior a -2,0 deberá ser considerado que da una *“señal de alerta”*. Es decir, los gráficos de control son una herramienta de trabajo para el control estadístico de los resultados de ensayo y sirven para monitorearlos.

A continuación, se presentan los gráficos de control contruidos a partir de los resultados (puntuación *z*) obtenidos en pH (Fig. 1) y CE (Fig. 2). En color verde aparecen las barras que corresponden a resultados Satisfactorios, en amarillo aquellos Cuestionables y en rojo los No Satisfactorios. En el eje *x* aparece un número de orden de los EA, con el fin de garantizar la confidencialidad de la información.

En los EA en que se participó en 2008 y 2019, se entregaron dos muestras en cada uno, y fue optativo para el laboratorio analizarlas por separado o no. El DECA se acogió a la variante de analizarlas por separado, para que los proveedores respectivos pudieran evaluar la exactitud (veracidad + precisión) de los resultados del laboratorio, empleando gráficos de Youden.

Los resultados que se han obtenido en pH han sido satisfactorios en todos los casos (Fig. 1), demostrando que, en el análisis a largo plazo, el ensayo se ha mantenido bajo control. Además, la distribución de los datos muestra un comportamiento aleatorio, no detectándose ninguna tendencia.

En la CE (Fig. 2), en general, los resultados han sido Satisfactorios (80 %), aunque se exceptúan dos ocasiones. En una de ellas (No. 6) se obtuvo un resultado Cuestionable (entre -2 y -3) y en la otra (No. 8) No Satisfactorio (10 %; $3,01 > 3$).

En el caso del Cuestionable, al realizar el análisis de causa fue difícil determinar la causa raíz, ya que cuando se recibió el Informe Final del EA con ese resultado, ya se había participado en otro con desempeño Satisfactorio en CE (No. 7), sin que hubiera mediado la calibración por el laboratorio metrológico de primer nivel del país, ni ningún otro hecho relacionado con el instrumento de medición a que pudiera achacársele la diferencia en los resultados.

En la Guía EURACHEM relacionada con los EA (EURACHEM, 2011) se expone que “un resultado no satisfactorio en una ronda no hace que el laboratorio sea malo, pero que tampoco el logro de 100% resultados satisfactorios en la ronda hace que un laboratorio sea necesariamente bueno. Sin embargo, la forma en que el laboratorio reacciona a un resultado No Satisfactorio, normalmente dará más información sobre el laboratorio que la aparición de un resultado Satisfactorio”.

En este caso, el laboratorio procedió según aparece descrito en la documentación de su SGC (PNO PG/C/O7 *Control del servicio no conforme. Acciones correctivas, preventivas y de mejora. Evaluación de la eficacia*), para ello realizó un análisis de causa, empleando una “tormenta de ideas”, lo que conllevó a revisar tanto los documentos como los procedimientos (la vigencia de la calibración, los materiales de referencia empleados en la comprobación interna realizada el día en que se ejecutaron los ensayos de las muestras del EA, el tiempo transcurrido entre el momento en que se recibieron las muestras y el de ejecución del ensayo, los controles de la calidad internos, se analizaron Materiales de Referencia Certificados de ese indicador, entre otros). Sin embargo, no se encontró la causa raíz que dio lugar al resultado incorrecto. En este caso, correspondería participar en otro EA, cuestión que se cumplió obteniéndose un resultado Satisfactorio para ese parámetro (EA No. 7, $z=0,09$), cerrándose con esto ese Hallazgo y demostrándose la competencia en ese ensayo.

En el resultado No Satisfactorio (No. 8), se estimó como causa raíz una calibración (comprobación interna) ineficiente del instrumento de medición de CE, antes de la ejecución de los ensayos correspondientes al EA, deficiencia que también recibió el tratamiento descrito anteriormente. En este mismo gráfico (Fig. 2) no se observan tendencias en el comportamiento de los resultados de CE en los EA a lo largo del tiempo.

En la norma ISO/IEC, adoptada como norma cubana NC-ISO/IEC 17043:2011 *Evaluación de la conformidad-Requisitos Generales para los Ensayos de Aptitud* (ONN, 2011) se explica que los resultados de los programas de EA son útiles tanto para los participantes como para los organismos de acreditación y que cada laboratorio, independientemente de la calificación que haya obtenido, debe analizar los resultados sobre la base de sus propios criterios, ya que muchas veces los criterios (por ejemplo, la desviación estándar para la evaluación del EA)

empleados por el proveedor del EA son más restrictivos que aquellos que el laboratorio tiene establecidos y considerados como “apto para el fin previsto”. En el caso de este trabajo, hay que tener en cuenta que, para la determinación del VA empleado para evaluar los resultados de los laboratorios, los proveedores emplearon dos métodos fundamentales: 1) valor de consenso entre los resultados de los laboratorios participantes y 2) establecimiento por un laboratorio de referencia (EA internacionales) (Tabla 1).

Además, en el documento normativo relacionado con los EA (ONN, 2011), también se alerta que se debe ser cauteloso en el análisis de este tipo de gráficos para observar el desempeño del laboratorio a lo largo del tiempo, ya que de un EA a otro puede haber diferencias en la evaluación cuando el VA es por consenso, ya que los laboratorios participantes pueden ser diferentes, de diferentes desempeños, emplear métodos de ensayo diferentes, etc.

Así mismo, algunos organismos relacionados con EA (Fera, 2016) recomiendan que la evaluación de las puntuaciones de desempeño de EAs diferentes sólo pueden ser comparadas si se aplican las mismas reglas para considerar que sean “aptos para el uso previsto”. De esto se deriva, por lo tanto, que las *puntuaciones z*, sólo pueden compararse cuando el valor de la desviación estándar para la evaluación de la aptitud (s^*) haya sido derivado de la misma manera.

En este sentido, se analizaron los VAs y las desviaciones estándar para la evaluación de la aptitud (s^*) calculándose una relación porcentual ($(s^*/VA) * 100$). Se puede observar (Fig. 3) las diferencias notables entre ellos, tanto para pH (0,5 a 4 %) como para CE (0,2 a 11 %), lo que corrobora las recomendaciones encontradas en la literatura, teniendo en cuenta, además, las diferencias de método en el establecimiento del VA (Tabla 1).

Por último, en el documento de EURACHEM (2011) se precisa el uso de los gráficos de control de las *puntuaciones z*, obtenidas a lo largo del tiempo, sólo cuando son de un mismo esquema de EA. En el caso de este trabajo, esto sólo se ajusta para los EA del mismo proveedor nacional en que el DECA ha participado y que establece el VA por consenso (Tabla 1).

Por todo esto, en lo adelante en el presente trabajo sólo se realizarán comparaciones entre los resultados de los EA del proveedor nacional.

Al calcular la Diferencia absoluta (D o *sesgo del laboratorio*) y la Diferencia porcentual o relativa ($D \%$, *Sesgo Relativo*) en que, en cada caso se compara el valor del resultado del laboratorio con el VA (parámetros fácilmente entendibles) (EURACHEM, 2011), se obtuvieron los gráficos del Sesgo Relativo ($D \%$) de los resultados obtenidos por el DECA en pH y CE, pudiéndose observar (Fig. 4) que, en ninguno de los EA (proveedor nacional), tanto para pH como para CE se sobrepasaron los valores de 5 %, que es una cifra aceptable para este indicador, demostrando lo satisfactorio de los resultados. Así mismo, como promedio de todos los resultados en estos parámetros se obtuvo un sesgo relativo promedio ($D, \%$) de -1,13 % en pH y de 1,19 % en CE.

Evaluación de la incertidumbre en los EA.

En los EA de proveedores nacionales, a estos no siempre les fue posible realizar esta evaluación debido a que pocos laboratorios las habían reportado. Cuando fue posible realizarla, se empleó el estadígrafo *zeta*. En la figura 5, aparecen dos de los gráficos tomados de un informe de EA del proveedor nacional, donde se señalan los resultados de incertidumbre reportado por el DECA para los ensayos de DQO y DBO₅.

El *parámetro zeta* se evalúa bajo los mismos criterios que la *puntuación z*, es decir, los resultados Satisfactorios son aquellos que se encuentran en el intervalo ± 2 . De acuerdo con ello, los valores de la incertidumbre de la medición reportadas para DQO y DBO₅ por el DECA son Satisfactorios.

Por su parte, el proveedor del EA del 2008 (IBMETRO, 2008) evaluó las incertidumbres reportadas por los laboratorios bajo criterios establecidos, reportándolos de la forma que aparece textualmente, a continuación (Fig. 6). La calificación de "En el Rango" indica una incertidumbre estimada dentro del rango esperado. Por lo tanto, no se generan acciones correctivas. En este caso, la incertidumbre reportada por el DECA para los resultados de los tres indicadores (CE, DQO y Sólidos Suspendidos) con que participó, estuvo dentro del rango establecido por el proveedor, por lo que se consideró correcta.

Gráficos de exactitud.

Se considera que la exactitud de todos los laboratorios que se sitúan dentro de la zona delimitada por la línea interna (zona crítica con un nivel de significación del 5%, línea amarilla en la Fig. 7) es Satisfactoria. La exactitud de todos los laboratorios que se sitúan dentro de la zona delimitada por la línea externa (zona crítica con un nivel de significación del 1%, línea roja) se considera cuestionable. En cada analito (DQO y DBO₅), los resultados reportados por el DECA (señalados con una flecha verde) fueron satisfactorios, al encontrarse dentro de la zona del nivel de significación del 5%. Es decir, estos resultados fueron precisos y veraces lo que se traduce en que poseen una correcta exactitud.

Evaluación global de la participación en EA

Como evaluación global de la participación del DECA se empleó el porcentaje de resultados satisfactorios obtenidos, para cada analito, en los diferentes EA (Tabla 2). Se debe tener en cuenta que, en algunos analitos, la participación fue mucho menor que para pH y CE, por las razones que anteriormente se han explicado en el presente trabajo.

Teniendo en cuenta estos resultados, el promedio de resultados Satisfactorios que el DECA ha obtenido durante su participación en los EA en el período analizado es de **97,5 %**, lo cual puede considerarse como una cifra muy satisfactoria, demostrando la competencia técnica mantenida por el laboratorio.

Competencia técnica y fidelización de los clientes.

Existe un consenso de que la fidelidad es una consecuencia de una calidad percibida positiva (García-Fernández, Sánchez-Oliver, Grimaldi-Puyana, Fernández-Gavira y Gálvez-Ruíz, 2017). De ahí la relación que se pretende demostrar con el presente trabajo entre los

resultados antes expuestos del DECA y la fidelización del cliente como resultado efectivo del prestigio del laboratorio debido a su competencia técnica demostrada y mantenida.

En este sentido otros autores señalan que la fidelización es una actitud positiva que supone la unión de la satisfacción del cliente con una acción de consumo estable (solicitud de servicio estable) y duradero (Guadarrama Tavira & Rosales Estrada. 2015; García-Fernández, Sánchez-Oliver, Grimaldi-Puyana, Fernández-Gavira y Gálvez-Ruiz, 2017). Desde este otro punto de vista, en el cual un cliente escoge realizar siempre los servicios ambientales que se ofrecen de caracterización de sus aguas y que implica que repiten su solicitud o aprovechan las oportunidades para nuevos servicios, se analiza la fidelidad de sus clientes en los estudios realizados en el DECA (López, Espinosa, Robert y León, 2017).

En el período 2015-2019, del total de solicitudes recibidas por año (Tabla 3), más del 50% corresponden a clientes del propio sector de las Industrias Biotecnológicas y Farmacéuticas (BioCubaFarma), seguido del MICONS (6%), MINAG (6%), CITMA (4%), entre otros. En ellos se observa que son clientes con estrategias comerciales o de servicios bien definidas, por lo que las exigencias regulatorias tanto nacionales como internacionales los lleva a ser más competitivos, de ahí que de necesitar de servicios de terceros lo realizan con laboratorios acreditados capaces de demostrar su calidad y confiabilidad en los resultados que ofrecen, así como su competencia técnica.

En la tabla 3 se muestran los resultados del número total de clientes recibidos por año en el período del 2011 al 2019 y, dentro de ellos, los que se comenzaron a analizar (etapa 2015 al 2019), que mantenían un estrecho vínculo con el DECA y confianza en los servicios recibidos, repitiendo sus necesidades con nuevas solicitudes de servicio, demostrando su fidelización. Se observa cómo ha ido en aumento la cantidad de clientes que han mostrado fidelidad a los servicios que el DECA ofrece. Como promedio, un 62,7 % de los clientes repitieron sus solicitudes. De igual forma, más del 52 % de los clientes que repiten pertenecen al Grupo de las Industrias Biotecnológicas y Farmacéuticas quienes acreditan con estos resultados los controles de sus vertimientos al medio ambiente, la disminución de la carga contaminante tanto generada como dispuesta, además de para las solicitudes de nuevas licencias ambientales por ampliaciones de sus producciones, entre otras razones. A este resultado le siguen el CITMA y el MICONS (10,5 %, respectivamente) y el MINAG, MINAL, SIME, GESIME (5,3 %, respectivamente).

A lo largo de los años el DECA ha centrado sus esfuerzos para retener a sus clientes apoyado en políticas de fidelización y su constante mejora teniendo en cuenta: el índice de satisfacción del cliente, las quejas, la ampliación de los servicios teniendo en cuenta la fortaleza en cuanto al nivel de especialización del personal con que se cuenta, lo que ha garantizado el establecimiento de vínculos a largo plazo y el mantenimiento de las relaciones.

La conjugación de los aspectos abordados en el presente trabajo ha permitido la diferenciación de los servicios que ofrece la Unidad de Gestión de los SCT-DECA de su competencia, basado en el principio general del servicio y la satisfacción al cliente.

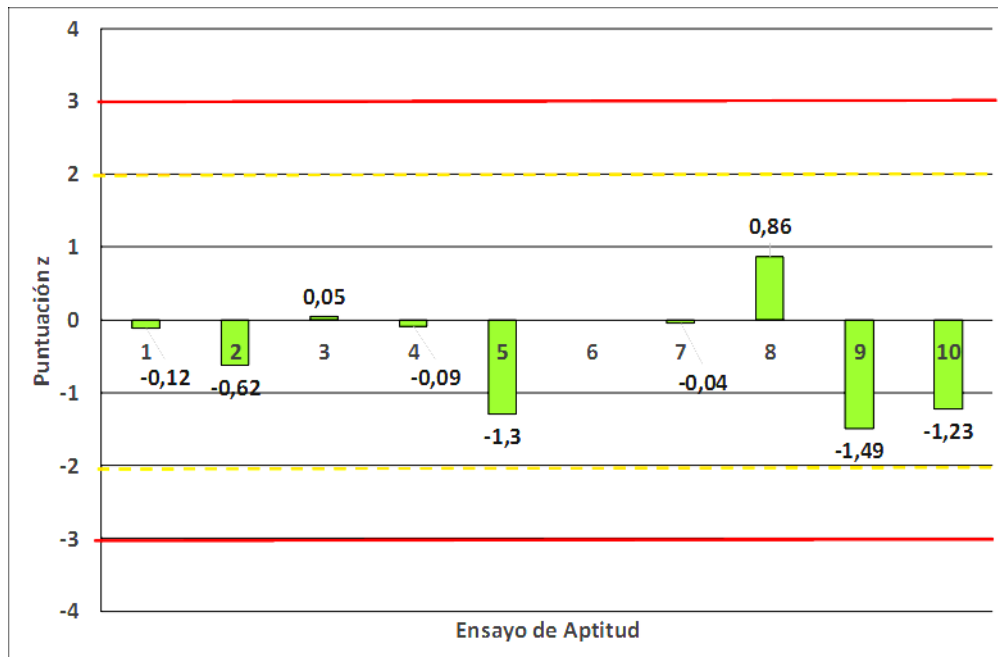


Fig. 1. Desempeño del DECA en Ensayos de Aptitud, mediante la puntuación z. (Gráfico de control de pH).

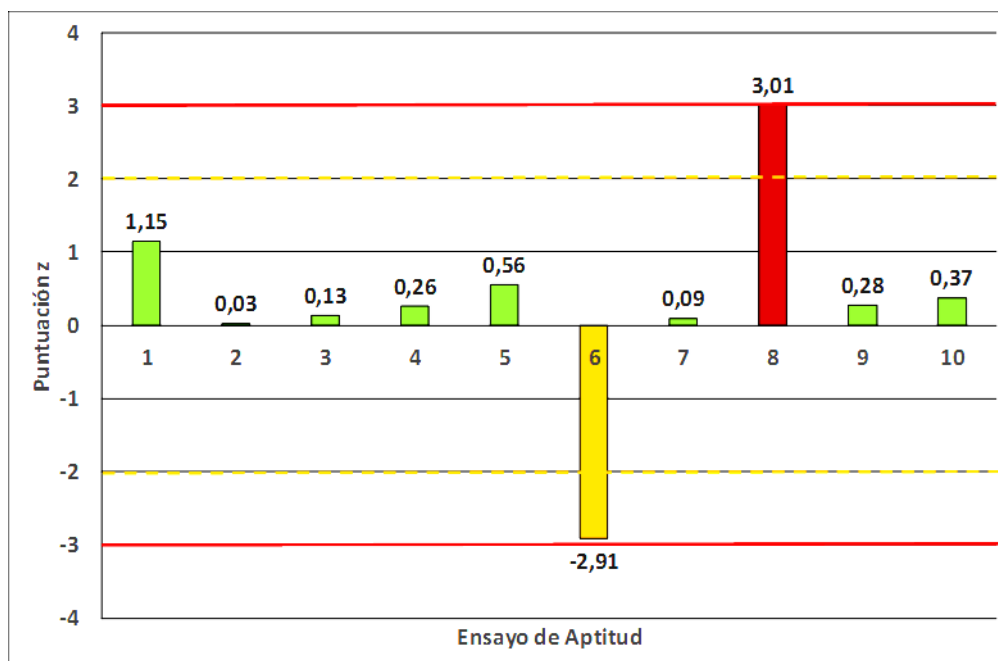


Fig. 2. Desempeño del DECA en Ensayos de Aptitud, mediante la puntuación z (Gráfico de control de Conductividad Eléctrica).

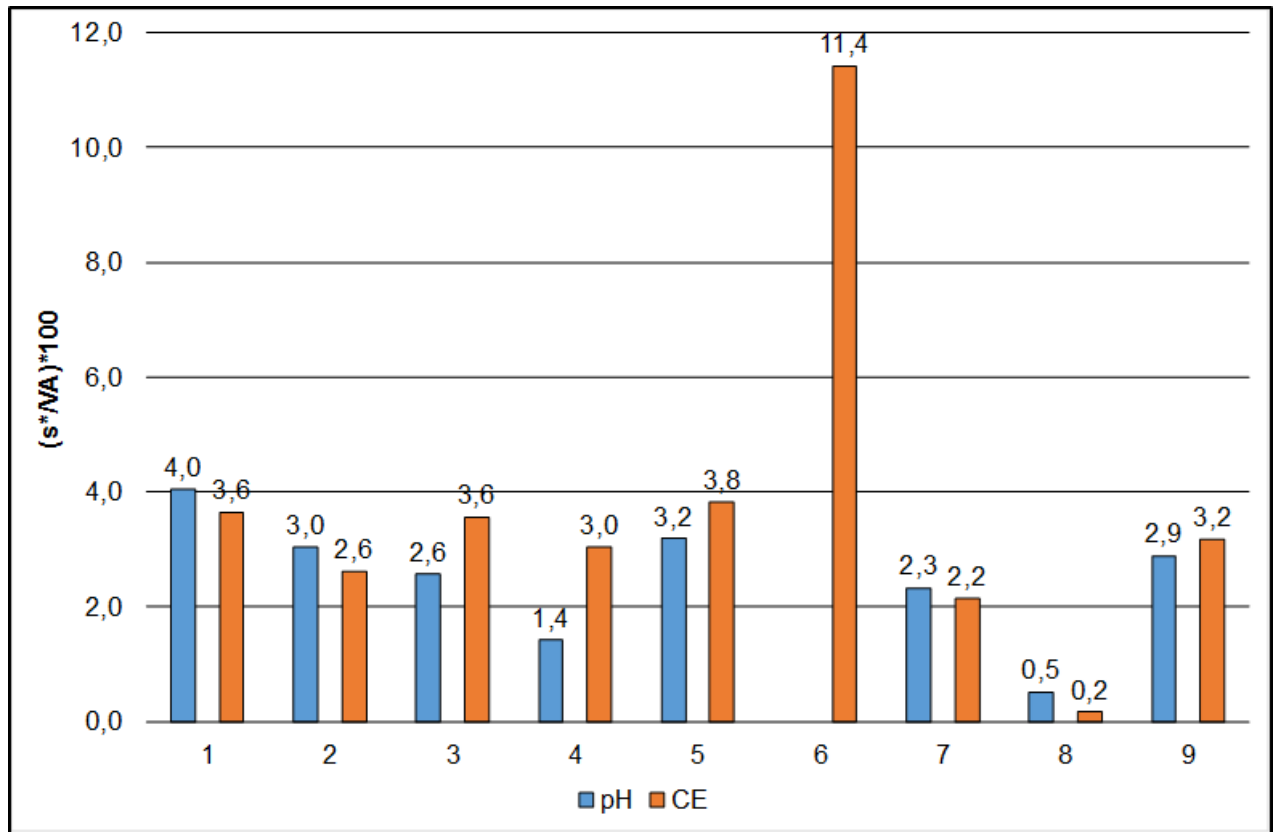
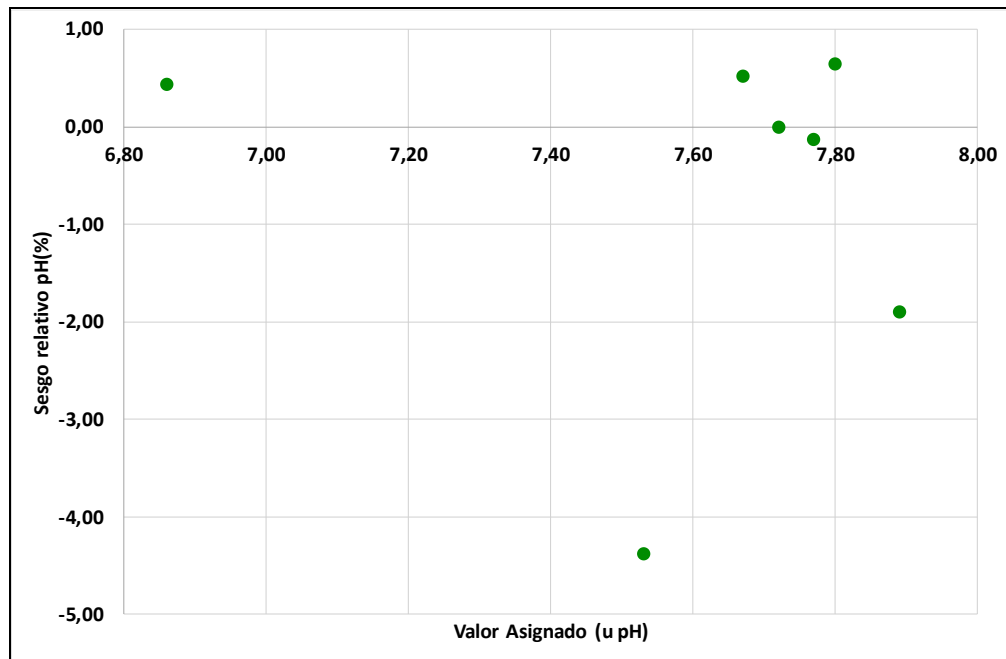
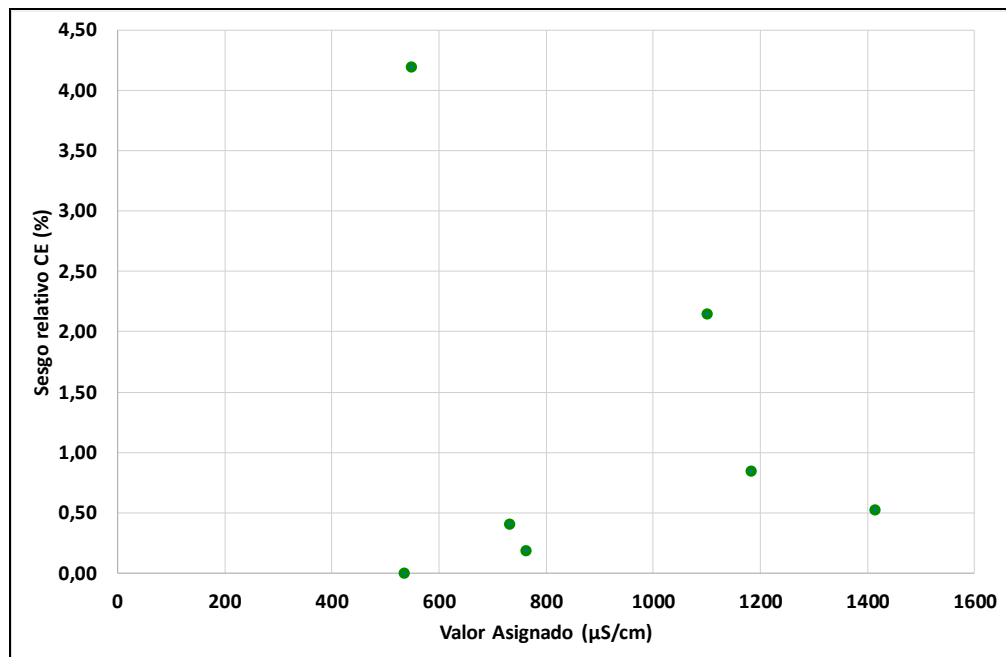


Fig. 3. Comportamiento del Coeficiente de Variación (CV) calculado a partir del Valor Asignado (VA) y de s^* (Desviación estándar para la evaluación de la aptitud), en los diferentes EA para el pH y la CE.



4a



4b

Fig. 4. Comportamiento del sesgo relativo del laboratorio (D, %) para los ensayos de pH (4a) y CE (4b), en los EA en que el DECA ha participado. (En el eje de las x aparece el Valor Asignado correspondiente a cada EA).

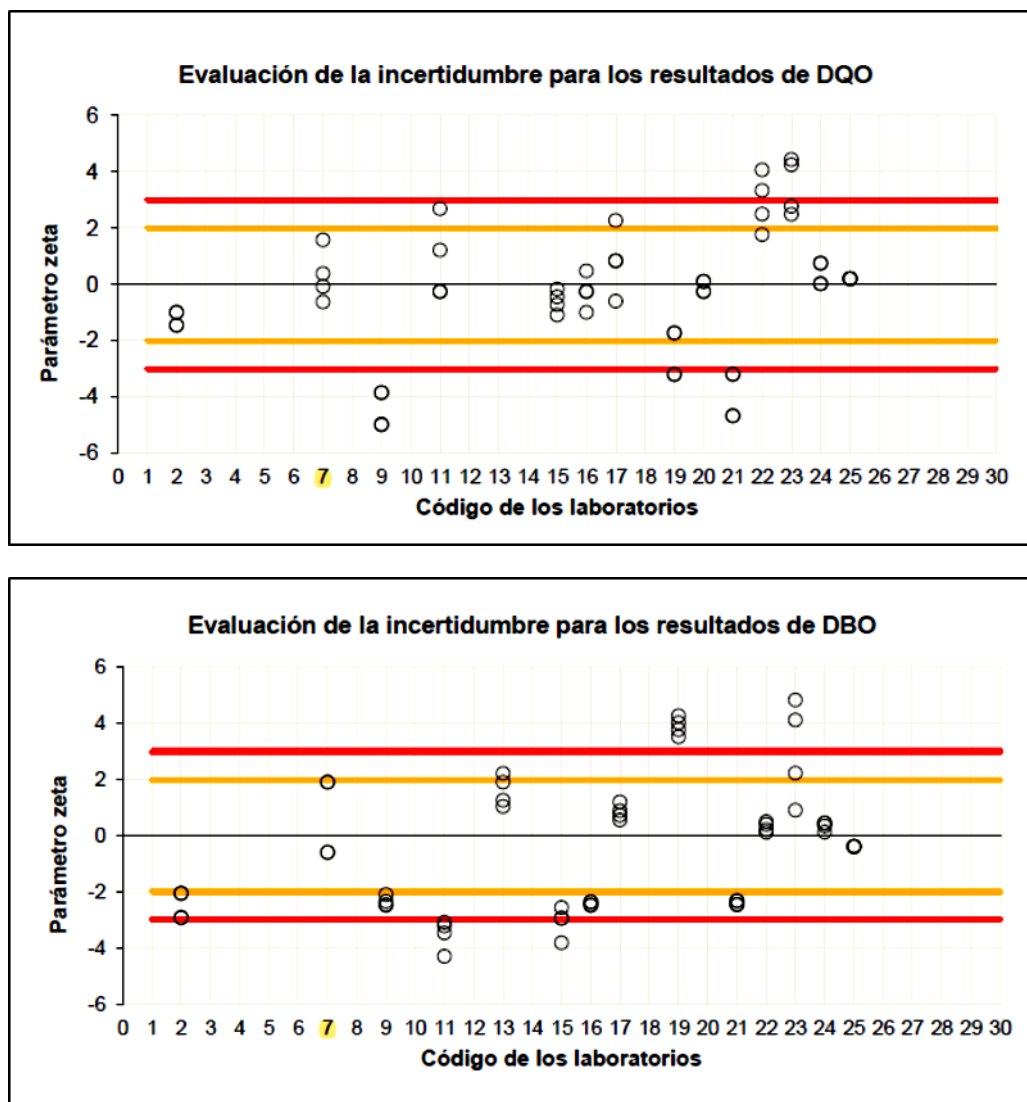
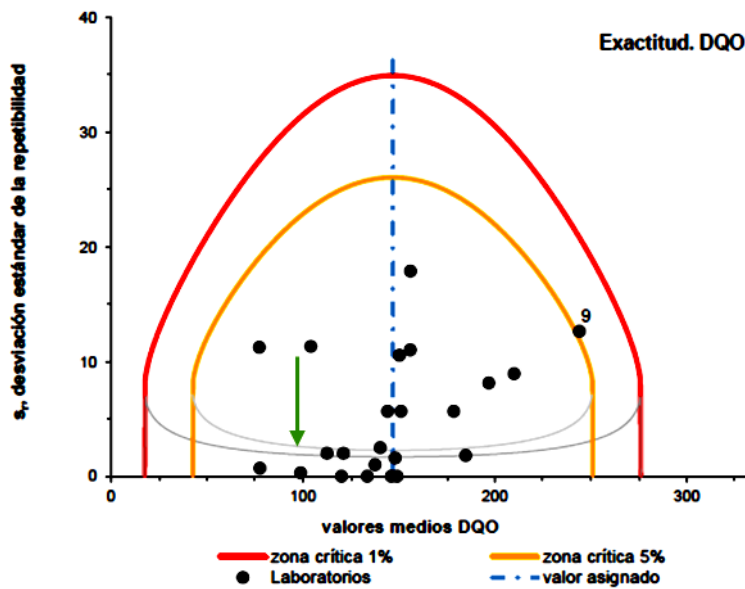


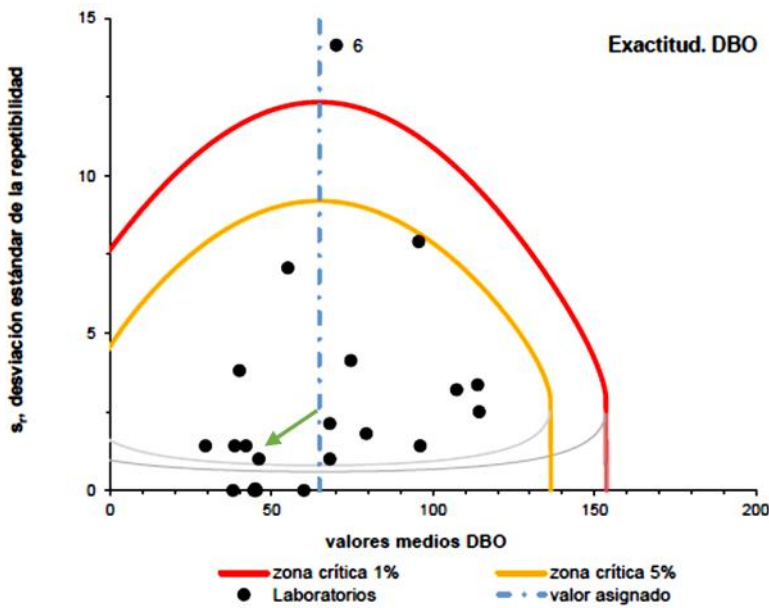
Fig. 5. Evaluación de la incertidumbre reportada por el DECA (código 7) en los resultados de DQO y DBO₅ en un EA. (Gráficos tomados de los Informes Finales de ENAS, Coordinador de Ensayos de Aptitud).

4.1 Datos reportados e indicadores de desempeño				
4.1.1 Conductividad				
Código	x	U	z-score	Incertidumbre
p516	397	8	-2,91	En el Rango
4.1.2 DQO				
Código	x	U	z-score	Incertidumbre
p516	131	12	1,51	En el Rango
4.1.3 Sólidos suspendidos				
Código	x	U	z-score	Incertidumbre
p516	1172	8	0,27	En el Rango

Fig. 6. Reporte de la evaluación de incertidumbre de los ensayos con que el DECA (código p516) participó en el EA organizado por el proveedor IBMETRO.



Valores DQO DECA. X: 99 mg/L (eje x); S_r : 0,3 mg/L (eje y)



Valores DBO5 DECA. X: 46 mg/L (eje x); S_r : 1 mg/L (eje y)

Fig. 7. Evaluación del desempeño del DECA mediante gráficos de exactitud. (Gráficos tomados de los Informes Finales de ENAS, Coordinador de Ensayos de Aptitud).

Tabla 1. Información de los Ensayos de Aptitud con participación del DECA. Período 2008-2019.

Proveedor*	ENAS	ENAST	ENAST	ENAST	MOL LABS	ENAST	ENAST	IBMETRO
País	Cuba	Cuba	Cuba	Cuba	Colombia	Cuba	Cuba	Bolivia
Año	2019	2018	2018	2017	2017	2015	2013-2014	2008
Matriz	Aguas embotelladas en las fuentes por las productoras Ciego Montero (Provincia Cienfuegos) y Amaro (Provincia de Villa Clara).	Agua de la red de distribución de La Habana, dopada.	Agua Residual	Agua Residual	Adición de reactivos de pureza conocida sobre agua desionizada tipo II	Agua de la red de distribución de la provincia de Mayabeque	Agua residual	Agua embotellada para consumo humano producida en Bolivia
Denominación Ronda EA	19R5A.1	18R1A.1	18R2B.1	17R2B.1	IG0717	15M1A.1	Agua Ronda única	IBMETRO-DTA-CI-011
Cantidad participantes	48	40	30	28	15	32	12	125
Forma de establecimiento valor de referencia	Valor de consenso	Valor de consenso	Valor de consenso	Valor de consenso	Laboratorio de referencia acreditado	Valor de consenso	pH, CE, Cl: MRCs. DQO y DBO ₅ : Formulación	Laboratorio de referencia acreditado

Tabla 2. Resumen de los resultados, por analito, en los EA en que el DECA ha participado (período 2008-2019)

	%		
	Satisfactorios	Cuestionables	No Satisfactorios
pH	100	0	0
CE	80	1	1
DQO	100	0	0
DBO₅	100	0	0
SST	100	0	0
Cl⁻	100	0	0
SO₄²⁻	100	0	0
DT	100	0	0

Tabla 3. Comportamiento de la fidelización de los clientes durante el período del 2015 al 2019.

Año	Solicitudes	No. Contratos firmados	Contratos concluidos	No. de clientes que repiten	% Fidelización clientes
2011	36	23	13	-	-
2012	40	24	12	-	-
2013	28	17	7	-	-
2014	50	23	6	-	-
2015	66	30	9	12	40
2016	61	29	13	18	62
2017	60	24	18	15	63
2018	57	24	13	15	63
2019	50	22	12	19	86

CONCLUSIONES

El DECA ha mantenido una adecuada participación en los Ensayos de Aptitud (8 participaciones en el período analizado), cumpliendo con ello lo establecido por los documentos normativos nacionales e internacionales, coadyuvando al mantenimiento de la acreditación del laboratorio. Se ha demostrado que el DECA mantiene su competencia técnica, de acuerdo con los resultados obtenidos en la participación en Ensayos de Aptitud, nacionales e internacionales, logrando como promedio en el período estudiado un 97,5 % de resultados Satisfactorios en estos ejercicios. La competencia técnica sostenida y demostrada del DECA ha permitido lograr una satisfacción de los requerimientos de sus clientes, así como una importante fidelización de ellos (62,7 %).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Björklöf, K., Leivuori, M., Sarkkinen, M., Sara-Aho, T., Tervonen, K., Lanteri, S. y Ilmakunnas, M. (2017). Interlaboratory Proficiency Test 08/2017. Domestic water measurements. Reports of the Finnish Environment Institute, 36|2017, Helsinki, pp. 7-40.
- Cotman, M., Drolc, A., Roš, M. (2003). An interlaboratory study to improve the quality of chemical and biological measurements in waste water. *Accred Qual Assur*, Vol. 8, pp. 156–160. DOI 10.1007/s00769-003-0585.
- de Medeiros Albano, F. (2016). Desenvolvimento de melhorias no processo de provisão de Ensaio de Proficiência por comparação interlaboratorial. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Universidade Federal do Rio Grande do Sul Porto Alegre, Brasil, pp. 1-100.
- de Medeiros Albano F. & Schwengberten C. (2014). Proficiency tests for laboratories: a systematic review. *ACQUAL*, Vol. 19, pp. 245-257.
- Demircioglu, H, Karapınar, İ. (2020). An interlaboratory comparison test for electrochemical analytical methods in real wastewater sample: z-score model and participants effect. *Eurasian Journal of Environmental Research*, 4 (1), pp. 1-9. Recuperado de <https://dergipark.org.tr/en/pub/ejere/issue/54122/682817>.
- Drolc, A., Cotman, M., Ros M., Majcen, N. (2006). Measurement traceability and its role in proficiency testing schemes – a case study for wastewater analysis in Slovenia. *Accred Qual Assur*, Vol.11, pp. 455–461. DOI 10.1007/s00769-006-0112-1.
- ENAS. (2019). Ensayo de Aptitud en Agua. Ronda 19R5A.1. Informe Final. Dirección de Ingeniería. Empresa Nacional de Análisis del Agua (ENAS). La Habana, Cuba, pp. 1-63.
- ENAST. (2014). Ensayo de Aptitud en Agua. Ronda Única. Informe Final. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST). La Habana, Cuba, pp. 1-24.

- ENAST. (2015). Ensayo de Aptitud en Agua. Ronda 15M1A.1. Informe Final. Dirección de Ensayos de Aptitud. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST). La Habana, Cuba, pp. 1-30.
- ENAST. (2017). Ensayo de Aptitud en Agua. Ronda 17R2B.1. Informe Final. Dirección de Ingeniería. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST). La Habana, Cuba, pp. 1-23.
- ENAST-a. (2018). Ensayo de Aptitud en Agua. Parámetros químico-físicos básicos en aguas limpias. Ronda 18R1A.1. Informe Final. Dirección de Ingeniería. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST). La Habana, Cuba, pp. 1-75.
- ENAST-b. (2018). Ensayo de Aptitud en Agua. Ronda 18R2B.1. Informe Final. Dirección de Ingeniería. Empresa Nacional de Análisis y Servicios Técnicos (ENAST). La Habana, Cuba, pp. 1-29.
- Espinosa, Ma. del C., Álvarez, Y., Rodríguez, X. Correa O., León Y., Gutiérrez J., Suárez M. (2009). Determinación de la Demanda Química de Oxígeno: evaluación de los resultados de un ensayo de aptitud empleando criterios robustos. V IBEROLAB, pp. 1-6.
- Espinosa, Ma. del C., Mayarí R., Díaz S., Suárez M., Rodríguez X. (2004). Ensayo de aptitud de pH y Conductividad Eléctrica en aguas y aguas residuales. Contribución a la Educación y la Protección Ambiental. Vol. 5. ISBN 959-7136-24-4, pp. 25-33.
- Espinosa, Ma. del C., Mayarí, R. (2005). Ensayos de Aptitud: requisito para la acreditación de laboratorios. Revista Cubana de Química. Vol. XVII, No 1, pp. 260.
- Espinosa, Ma. del C., Mayarí, R., Díaz, S., Suárez, M. (2005). El Departamento de Estudios sobre Contaminación Ambiental (DECA) como coordinador de ensayos de aptitud de laboratorios de ensayos ambientales. Revista Cubana de Química. Vol. XVII, No 1, pp. 261.
- EURACHEM. (2011). Selection, Use and Interpretation of Proficiency Testing (PT) Schemes. Second Edition 2011. Editors. Ian Mann (SAS, Switzerland). Brian Brookman (LGC Standards, UK), pp. 16-17.
- Fera. (2016) Protocol for Proficiency Testing Schemes. Part 1. Common Principles. Version 5, September 2016. Fera Science Ltd., pp. 10-13.
- Fernandes-Whaley, M., Prevoos-Franzsen, D., Quinn L. and Nhlapo, N. (2015). How well do our measurements measure up? An overview of South Africa's first proficiency testing scheme for organochlorine pesticides in water. Water SA. Special Edition 2015. ISSN 1816-7950 (National Metrology Institute of South Africa (NMISA), Organic Analysis Section, Lynnwood Ridge 34, Pretoria, 0040, <http://dx.doi.org/10.4314/wsa.v41i2.01>. Available on website <http://www.wrc.org.za>.
- García-Fernández, J., Sánchez-Oliver, A. J., Grimaldi-Puyana, M., Fernández-Gavira, J., Gálvez-Ruiz, P. (2017). La calidad y la fidelidad del cliente: Un análisis de

segmentación en centros de fitness low-cost. *Journal of Sport Psychology*, Vol 26, Suppl 3, pp. 17-22 ISSN: 1132-239X ISSN: 1988-5636.

Guadarrama Tavira, E., Rosales Estrada, E. M. (2015). Marketing relacional: valor, satisfacción, lealtad y retención del cliente. análisis y reflexión teórica. *Ciencia y Sociedad*, vol. 40, núm. 2, pp. 307-340.

IBMETRO. (2008). Informe Final. Ensayo de Aptitud en Agua. IBMETRO-DTA-CI-011. Instituto Boliviano de Metrología. Dirección Técnica de Acreditación. Bolivia, pp. 1-89.

López Torres, M., Espinosa Lloréns, M. C., Robert Pullés, M., León Hernández, Y. (2017). Resultados del servicio al cliente según el sistema implementado en la Unidad de Gestión de los SCT-DECA. VIII IBEROLAB, pp. 1-5.

Martín, J., Ramos Izquierdo, S., Asuero A. G. (2018). Quality Control in the Analytical Laboratory: A Case Study: Determination of Anti-Inflammatory Drugs in Superficial Waters. *Asian Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*. (AJIRSET) ISSN: 2455-8826. Vol.03, Issue 04, pp. 01-10.

Medeiros de Albano F. & Schwengberten C. (2014). Proficiency tests for laboratories: a systematic review. *ACQUAL*, Vol. 19, pp. 245-257.

Mol Labs. (2017). Informe Global IG0717. Ensayo de aptitud para la determinación de Conductividad, DQO y sólidos suspendidos, en agua residual. Mol Labs. Ltda. Metrología Química. Bogotá. Colombia, pp. 1-18.

Olabarri Powell, I. (2015). Metodología e informatización del análisis de resultado de Ensayos de Aptitud aplicado al ensayo con materiales de construcción. [Proyecto de fin de carrera]. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Minas de Madrid. Universidad Politécnica de Madrid. España, pp. 25-53.

ONARC-a. (2019). POL 1 Política de Ensayos de Aptitud Rev. 07. Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba. La Habana, pp. 1-6.

ONARC-b. (2019). DD4. Criterios de acreditación para laboratorios de Ensayo y de Calibración. Rev. 07. Órgano Nacional de Acreditación de la República de Cuba. La Habana, pp. 1-9.

ONN-a. (2005). NC ISO 5725-1:2005. Exactitud (veracidad y precisión) de métodos de medición y resultados-Parte 1: Principios generales y definiciones. (ISO 5725-1:1994, IDT). Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 5-10.

ONN-b. (2005). NC ISO 5725-4:2005. Exactitud (veracidad y precisión) de métodos de medición y resultados-Parte 4: Métodos básicos para la determinación de la veracidad de un método de medición estándar. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 1-26.

ONN. (2007). NC 521:2007. Vertimiento de aguas residuales a la zona costera y aguas marinas. Especificaciones. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 1-15.

- ONN. (2010). NC 827:2010. Agua potable. Requisitos sanitarios. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 1-11.
- ONN. (2011). NC-ISO/IEC 17043:2011. Evaluación de la conformidad - Requisitos generales para los ensayos de aptitud. Traducción certificada. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 1-53.
- ONN. (2012). NC 27:2012. Vertimiento de aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 14.
- ONN. (2014). NC 1021: 2014. Higiene comunal. Fuentes de abastecimiento de agua. Calidad y protección sanitaria. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 1-14.
- ONN-a. (2017). NC 827:2017. Agua Potable. Requisitos Sanitarios. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 3-11.
- ONN-b. (2017) NC ISO/IEC 13528:2017. Métodos estadísticos utilizados en los ensayos de aptitud por comparación entre laboratorios (ISO 13528: 2015, IDT), Oficina Nacional de Normalización, La Habana, pp. 12-55.
- ONN. (2018). NC-ISO/IEC 17025:2017. Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y calibración. Tercera edición 2017-11. Versión corregida 2018-03. Traducción oficial en español. Oficina Nacional de Normalización. La Habana, pp. 1-30.
- Setó Pamies, D. (2003). La fidelidad del cliente en el ámbito de los servicios: un análisis de la escala "intenciones de comportamiento". Investigaciones Europeas de Dirección y Economía de la Empresa Vol. 9, No. 2, pp. 189-204. ISSN: 1135-2523.
- Sorbo A., Ciprotti M., Colabucci A., D'Amato, M., Di Gregorio M., Fornari G., Turco, A. y Ciaralli, L. (2019). Proficiency testing as a tool to assess quality of data: the experience of the EU Reference Laboratory for chemical elements in food of animal origin. Pure and Applied Chemistry. Vol. 92, Issue 3, pp. 383-390. DOI: <https://doi.org/10.1515/pac-2019-0227>.
- Sorbo, A. (2012). Control charts to evaluate long-term performance in proficiency tests. European Union Reference Laboratory for Chemical. Elements in Food of Animal Origin (EU-RL CEFAO). EURACHEM Workshop October 10-11, pp. 1-16.
- Ternero Piña, J. (2017). Ejercicios Interlaboratorio. [Tesis de grado]. Facultad de Farmacia. Departamento de Química Analítica. Grado en Farmacia. Universidad de Sevilla. Sevilla, pp. 40.