

Evaluación de dos métodos para el cálculo de la incertidumbre en la determinación de sólidos suspendidos totales

Evaluation of two methods for the calculation of the uncertainty in the determination of solids suspended total

Herman Tarazona Mirabal ^{1,a}  

Filiación institucional

¹ Universidad de Huánuco, Huánuco, Perú.

Filiación académica

^a Magíster en Gestión Educativa.

Recibido: 25-05-24

Aprobado: 01-07-24

Publicado: 15-07-24

RESUMEN

Objetivo. Determinar la incertidumbre de la medición utilizando dos métodos aplicados en el análisis de sólidos suspendidos totales (SST) en aguas residuales del río Huallaga en Huánuco (Perú). **Métodos.** Para comparar la versatilidad de dos métodos de determinación de la incertidumbre de una medición analítica, en este caso aplicada a la determinación de SST en aguas residuales, se ha utilizado un enfoque cuantitativo y de comparación de dos métodos de cálculo: primero, utilizando la estimación de las fuentes de incertidumbre más importantes (Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry, EURACHEM/CITAC); y segundo, utilizando la estimación de los resultados de la validación de un método analítico (Analytical Methods Committee, Marotto). Las muestras consideradas como aguas residuales se tomaron del río Huallaga (Puente Joaquín Garay), donde este recibe descargas de aguas servidas sin tratamiento, durante los meses de abril a agosto del 2023. Para la determinación de SST secados entre 103 a 104 °C, se utilizó el método estandarizado 2540D, mientras que para el análisis de datos se obtuvieron estadísticos descriptivos y se aplicó una prueba de comparación de medias mediante la prueba de distribución t de Student. **Resultados.** Se obtuvo una incertidumbre relativa con el primer método del 6 % para una concentración de 234,8 mg/L y con el segundo método del 10 % para una concentración de 244,7 mg/L. **Conclusión.** Al comparar con otras determinaciones, el valor de incertidumbre obtenido con el segundo método fue aproximado al obtenido en las referencias, con la ventaja de que su cálculo es más sencillo.

Palabras clave: incertidumbre; trazabilidad; validación; métodos analíticos; sólidos suspendidos.

ABSTRACT

Objective. To determine the uncertainty of the measure using two applied methods in the analysis of solids suspended total (SST) in residuals water of the Huallaga river in Huanuco (Peru). **Methods.** For comparison the versatility of two methods of determination of the uncertainty of an analytical measurement, in this case applied to the determination of SST in residuals water, An quantitative approach and of comparison of two methods of calculate: first, using the estimation of the sources of uncertainty more relevance (Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry, EURACHEM/CITAC); and second, using the results estimation of the validation of an analytic method (Analytical Methods Committee, Marotto). The samples considered as residuals water was taken of the Huallaga river (Joaquin Garay bridge), where this receive untreated wastewater discharges during the months of april to august of the 2023. For the determination of SST dried among 103 to 104 °C, the standardized method 2540D was used, while that for the analysis of data, descriptive statistics were obtained and a comparison test of means using Student's t distribution test was applied. **Results.** A relative uncertainty was obtained with the first method of the 6 % for a concentration of 234,8 mg/L and with the second method of the 10% to the concentration of 244,7 mg/L. **Conclusion.** To compare with other determinations, the uncertainty value obtained with the second method was approximated to the obtained in the references, with the advantage that its calculation is more simple.

Keywords: uncertainty; traceability; validation; analytical methods: solids suspended.

Citar como: Tarazona Mirabal, H. (2024). Evaluación de dos métodos para el cálculo de la incertidumbre en la determinación de sólidos suspendidos totales. *Revista Científica De Ingeniería, Diseño y Arquitectura Contemporánea*, 1(2):9-17. doi: <https://doi.org/10.37711/idac.2024.1.2.2>



Introducción

Según la guía de Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry (EURACHEM/CITAC, 2015) acerca de la definición de la incertidumbre en mediciones analíticas, la describe como el “parámetro asociado al resultado de una medida, que caracteriza la dispersión de los valores que podrían razonablemente ser atribuidos al mensurando” (p. 2). De ello se infiere que la incertidumbre de una medición representa la duda acerca de la exactitud del resultado de una medición, que implica haber evaluado todas las posibilidades de error y haberlas controlado (Maroto et al., 2003). El concepto de incertidumbre y su valoración significa por tanto que una medición analítica nunca es un valor absoluto o verdadero, puesto que este valor no existe; entonces, esta debe expresarse como un intervalo, siempre y cuando la determinación analítica haya seguido un método estandarizado con su respectivo sistema de control de la calidad (Comité Conjunto de Guías en Metrología, 2012).

El proceso de estimación de la incertidumbre denominado *bottom-up* (de abajo hacia arriba) considera la estimación de todos los factores que podrían ser fuente de error e influenciar en el resultado. Las etapas son las siguientes: especificar el mensurando, generalmente por medio de una relación de la cual depende el mensurando de otras magnitudes; identificar las fuentes de incertidumbre; cuantificar los componentes de la incertidumbre utilizando datos de otros estudios fiables; y calcular la incertidumbre combinada, expresada como desviaciones estándar, según la ley de propagación de la incertidumbre.

La ley general de propagación de la incertidumbre se expresa en función de la variabilidad del parámetro “y”, así como de su incertidumbre estándar elevada al cuadrado, según la siguiente ecuación:

$$u(y) = \sqrt{\left(\frac{\partial y}{\partial p}\right)^2 \cdot (u(p))^2 + \left(\frac{\partial y}{\partial q}\right)^2 \cdot (u(q))^2 + \dots}$$

Donde $u(p)$, $u(q)$..., son las incertidumbres de los parámetros p y q. Para modelos que involucren solo un producto o cociente, como $y = k(pqr\dots)$, donde k es una constante, la incertidumbre estándar combinada $u_c(y)$ es dado por:

$$u_c(y) = y \sqrt{\left(\frac{u(p)}{p}\right)^2 + \left(\frac{u(q)}{q}\right)^2 + \dots}$$

Donde $u(p)/p$ etc., son las incertidumbres expresadas como desviaciones estándar relativas (DER); de modo que la ecuación práctica de cálculo de la incertidumbre propagada es:

$$\frac{u_c(y)}{y} = \sqrt{(\text{DER}(p))^2 + (\text{DER}(q))^2 + \dots}$$

Donde $\frac{u_c(y)}{y}$ es la incertidumbre relativa propagada en el resultado. Esta última ecuación nos permite calcular las incertidumbres para cualquier resultado; sólo va a depender del valor y.

Otra forma de calcular la incertidumbre se basa en la aproximación propuesta por Analytical Methods Committee (AMC, 1995), que calcula la incertidumbre globalmente con la ventaja de no tener que identificar todas las fuentes de error de un procedimiento analítico. Maroto (2002) propuso una simplificación utilizando la verificación de la trazabilidad de los resultados; es decir, se utilizan los datos procedentes de la validación del método analítico, los cuales son considerados como factores de incertidumbre asociada la variación durante el procedimiento de rutina, al aplicar el método (analista, equipo, etc.). Además, se toma en cuenta el sesgo debido a la trazabilidad del método, así como el sesgo por la heterogeneidad de las muestras y de los tratamientos de la muestra. Todos estos valores se incluyen en la ecuación de la propagación de la incertidumbre, pero considerando los efectos globales, todo lo cual se expresa por la ecuación:

$$U = k \sqrt{U_{\text{precisión}}^2 + U_{\text{trazabilidad}}^2 + U_{\text{otros términos}}^2}$$

El primer término considera la variabilidad experimental al practicar una serie de análisis, el segundo término considera el sesgo de la verificación de la trazabilidad con un estándar de referencia certificado (CRM), el tercer término considera la incertidumbre de las muestras y de los pretratamientos, y el cuarto término involucra el sesgo de diferentes muestras con diferentes matrices, las cuales se analizan en laboratorio con el mismo método.

Para las determinaciones analíticas en el control de calidad de productos farmacéuticos, la técnica más frecuente es la cromatografía líquida y resulta de gran importancia la determinación de la incertidumbre de medición, las cuales frecuentemente se estiman aprovechando los datos de validación del método (veracidad y precisión). La influencia de los errores aleatorios (precisión) tiene mayor influjo en la determinación de la incertidumbre general que los errores sistemáticos (Separovic y Rebello, 2019).

Por ende, el objetivo de la presente investigación fue la determinación práctica de la incertidumbre, utilizando como parámetro de determinación de esta propiedad el análisis de sólidos suspendidos secados entre 103 a 104 °C, por cuanto la determinación de la incertidumbre es un valor asociado a las mediciones analíticas que llevan implícito diversas fuentes de error y es una estimación propuesta en la Norma ISO/IEC 17025, cuando dice que “los laboratorios de ensayo deben tener y aplicar procedimientos para estimar la incertidumbre de la medición” (Organización Internacional de Normalización, Comisión Electrotécnica Internacional [ISO, IEC], 2005).

Métodos

Tipo y área de estudio

El estudio fue de enfoque cuantitativo, de diseño preexperimental y de medición analítica. El estudio fue realizado, durante los meses de abril a agosto del 2023, en el río Huallaga, cerca al puente Joaquín Garay, Distrito de Amarilis, Provincia y Departamento de Huánuco, donde el río recibe descargas de aguas servidas sin tratamiento.

Población y muestra

La población muestral del estudio fueron las aguas del río Huallaga que reciben las descargas de los colectores de aguas residuales domésticas.

Variable e instrumentos de recolección de datos

Para la determinación de sólidos suspendidos totales secados entre 103 a 104 °C, se utilizó el método estandarizado 2540D, descrito por Rice et al. (2012). Se utilizaron los siguientes materiales: estufa Binder (calibrada), balanza analítica AND (calibrada), agitador magnético con barra TFE, pipetas de punta ancha, probeta de 100 ml, cápsulas de aluminio, embudo de filtración, filtros de fibra de vidrio Pall de 4,7 cm y retención de 1 micra.

Los métodos para la estimación de la incertidumbre de los resultados fueron dos: 1) el método descrito en la Guía EURACHEM/CITAC (2015); y 2) el método propuesto por Moroto (2002).

Los estándares secundarios utilizados se prepararon como una suspensión a partir de carbonato de calcio Merck de 98,5 % de pureza.

Análisis de datos

Los datos obtenidos fueron resultados de los análisis de aplicación de los métodos en mención para la estimación de la incertidumbre de masa, volumen y temperatura. Para el tratamiento de los datos se obtuvieron estadísticos descriptivos y se acudió a una prueba de comparación de medias mediante la prueba de distribución t de Student.

Aspectos éticos

Al ser un estudio que no implicó la intervención de seres humanos, no se consideró el código de ética; sin embargo, al ser un estudio preexperimental se veló por las conductas responsables de investigación (CRI), valorando la ausencia de plagio y el uso de fuentes debidamente referenciadas y citadas.

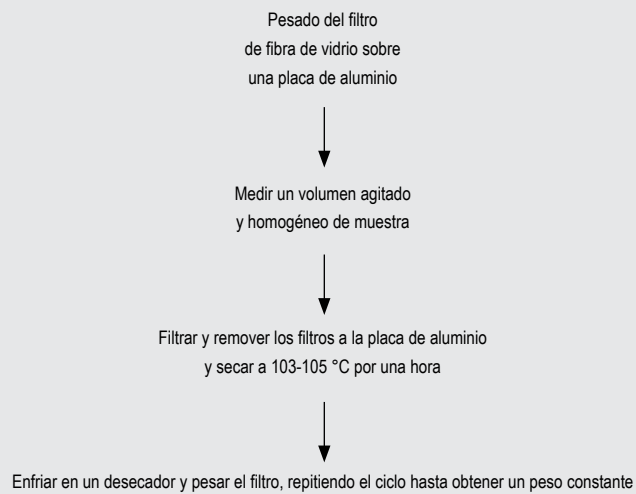
RESULTADOS

Para efecto de evaluar el cálculo de la incertidumbre de una medición analítica de sólidos suspendidos totales (SST) se ha utilizaron dos métodos:

1. Cuantificación de la incertidumbre de SST de agua del río Huallaga según la guía EURACHEM/CITAC, en las siguientes etapas:
 - 1.1. Se especificó el mensurando, la concentración de sólidos suspendidos en una solución acuosa, preparado a partir de un estándar secundario, como carbonato de calcio, que se calcula por: $c = \frac{(A-B) \times 1000}{V}$. Dónde: C: es la concentración de sólidos suspendidos en agua en mg/L, A: peso del filtro más el residuo seco en mg, B: peso del filtro en mg, V: volumen de la solución de estándar de carbonato de calcio en ml.
 - 1.2. Procedimiento: El procedimiento para la determinación de sólidos suspendidos secados a 103 °C siguió el método 2540 D, validado por Rice et al. (2012), cuyo diagrama de flujo es como sigue (ver Figura 1):

Figura 1

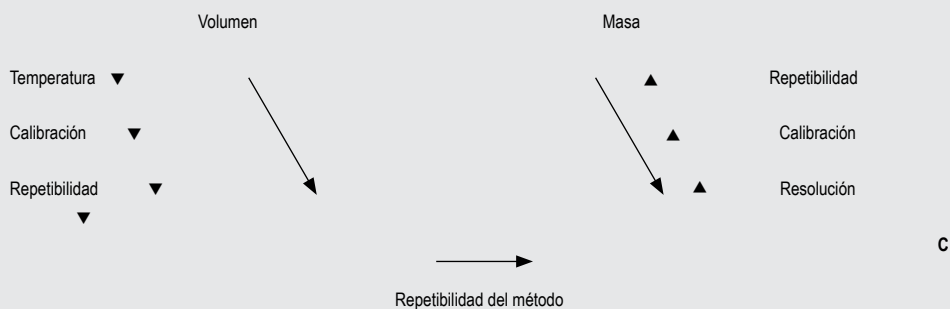
Flujo para la determinación de SST



- 1.3 Identificación de las fuentes de incertidumbre: Las fuentes de incertidumbre más importantes se presentan en el diagrama de causa y efecto (ver Figura 2):

Figura 2

Diagrama causa efecto para la determinación de la incertidumbre



1.4. Cuantificación de las fuentes de incertidumbre: La determinación de la incertidumbre del volumen (V) toma en consideración los siguientes efectos: i) temperatura, cuyo valor estimado fue de 0,084 ml, ii) calibración: 0,02 ml, iii) repetibilidad, cuya desviación estándar de 6 repeticiones fue de 0,04 ml. Luego, las tres contribuciones combinadas para dar la incertidumbre estándar del volumen fue:

$$u(V) = \sqrt{(0,084)^2 + (0,02)^2 + (0,04)^2} = 0,09 \text{ ml.}$$

La determinación de la incertidumbre de la masa toma en consideración los siguientes efectos: i) la incertidumbre de calibración de la balanza analítica del laboratorio fue: $u_{cal} = 0,00004/2/\sqrt{3} = 0,000011$; ii) la incertidumbre de la repetibilidad se determinó después de realizar tres determinaciones de masa, obteniéndose una desviación estándar de $s = 0,0003$ g; entonces, se halla por: $u_{rep} = 0,0003/\sqrt{3} = 0,00017$; iii) la resolución de la balanza fue de 1 mg, por lo que la incertidumbre de la resolución fue: $u_{res} = 0,0001/2/\sqrt{3} = 0,000029$. Luego la incertidumbre de la masa se estimó por: $u_m = \sqrt{2 [0,000011^2 + 0,00017^2 + 0,000029^2]} = 0,0002\text{g} = 0,2\text{mg}$

La incertidumbre de la repetibilidad del método se determinó al analizar 5 muestras de agua del río Huallaga, que pasa por la ciudad de Huánuco y se considera como agua residual, pues capta numerosas descargas de aguas residuales. La media fue de 234,8 mg/L, con una desviación estándar de 14,94 (ver Tabla 1).

Tabla 1

Cuantificación de la incertidumbre para agua del río Huallaga-Huánuco

| Descripción | Valor, x | u(x) | u(x)/x | (u(x)/x) ² |
|----------------------|----------|---------|----------|-----------------------|
| masa (mg) | 23,48 | 0,2 | 0,008518 | 0,00007255 |
| volumen (L) | 0,1 | 0,00009 | 0,000900 | 0,00000081 |
| Concentración (mg/L) | 234,8 | 14,94 | 0,063629 | 0,00404860 |
| | | | *SUM | 0,00412197 |
| | | | **RCUAD | 0,06 |

*SUM: suma de las incertidumbres relativas elevadas al cuadrado.

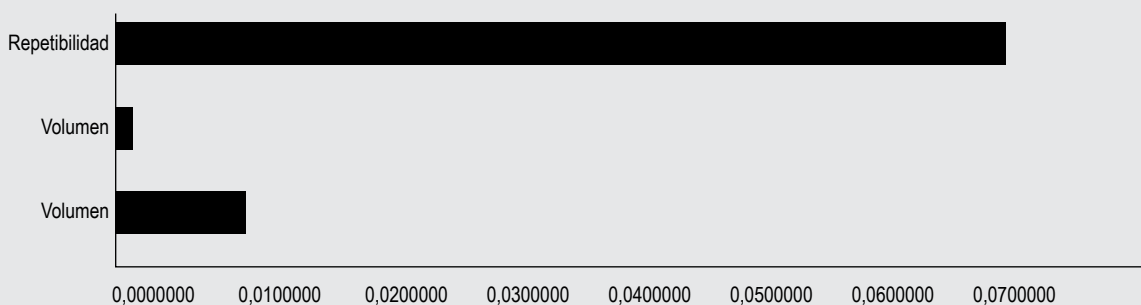
**RCUAD: raíz cuadrada de la suma.

La incertidumbre estándar relativa para la concentración se calculó por la siguiente ecuación: $\frac{u(C)}{C} = 0,06$ (incertidumbre relativa: 6 %). La incertidumbre total para la concentración actual de C fue: $u(C) = 234,8 \times 0,06 = 14,1$ mg/L.

La incertidumbre expandida al 95 % de confianza fue: $U(C) = 14,1 \times 2 = 28,2$ mg/L. La expresión para la concentración obtenida fue $234,8 \pm 28,2$; con un 95 % de confianza (ver Figura 3).

Figura 3

Valores de incertidumbre relativa en la determinación de SST, según el método CITAC/EURACHEM



2. Cuantificación de la incertidumbre a partir de la trazabilidad del método: preparación de un estándar secundario

En el laboratorio se preparó una muestra de sólidos suspendidos con carbonato de calcio (Merck) de 98,5 % de pureza, y se estimó la incertidumbre de la suspensión preparada. La ecuación que especifica el mensurando fue: $C_{st} = \frac{1000xmxP}{C}$.

La incertidumbre relativa de la concentración del estándar secundarios fue: $u_{CRM} = 244,674 \times 0,05 = 12,2337$; siendo su incertidumbre expandida: $U_{CRM} = 2 \times 12,23 = 24,47$ mg/L (ver Tabla 2).

Tabla 2

Cuantificación de la incertidumbre relativa de un estándar secundario de suspensión de carbonato de calcio (244,674 mg/L) preparado en el laboratorio

| Descripción | Valor, x | u(x) | u(x)/x | (u(x)/x) ² |
|---------------------|----------|---------|----------|-----------------------|
| masa (mg) | 61,15 | 0,2 | 0,003271 | 0,00001070 |
| volumen (L) | 0,25 | 0,00009 | 0,000360 | 0,00000013 |
| pureza | 1 | 0,0087 | 0,008700 | 0,00007569 |
| repetibilidad, mg/L | 244,674 | 12,15 | 0,049658 | 0,00246591 |
| | | | *SUM | 0,00255242 |
| | | | **RCUAD | 0.05 |

*SUM: suma de las incertidumbres relativas elevadas al cuadrado.

**RCUAD: raíz cuadrada de la suma.

2.1 Comprobación de la trazabilidad y cálculo de incertidumbres: La incertidumbre se obtuvo de los datos

de la Tabla 3 y se calculó por la siguiente ecuación: $U_{precisión} = \frac{S_1}{\sqrt{N}}$

Tabla 3

Análisis de cuatro estándares secundarios de una suspensión de carbonato de calcio de 244,674 mg/L

| n(ensayos) | C(mg/L) |
|---------------------|-------------|
| 1 | 240 |
| 2 | 220 |
| 3 | 212 |
| 4 | 230 |
| media (\bar{x}) | 225,5 |
| S | 12,15181742 |
| CV (%) | 5,4 |

Luego la incertidumbre de la precisión $U_{precisión} = 12,15$ mg/L. Además, la estimación de la incertidumbre debida a la trazabilidad se calculó por la siguiente ecuación: $u_{trazabilidad} = \sqrt{\left(\frac{U_{CRM}}{k}\right)^2 + \left(\frac{S_1}{\sqrt{n}}\right)^2}$. La U_{CRM} fue de 24,47, k fue de 2, y el término de precisión fue de 12,15; de donde la $U_{trazabilidad}$ fue de 13,66.

La t de Student de la trazabilidad del método se calculó por la ecuación: $t_{calculado} = \frac{|X_{CRM} - X_{metodo}|}{\sqrt{\left(\frac{U_{CRM}}{k}\right)^2 + \left(\frac{S_1}{\sqrt{n}}\right)^2}}$.

Donde $t_{calculado}$ fue 1,4. La t de Student de tabla para dos colas con 95 % de confianza y 3 grados de libertad fue 3,1824; por lo que consideramos que el método es trazable.

Para determinar la incertidumbre debida a la heterogeneidad fueron analizadas muestras de agua residual tomadas del río Huallaga (a la altura del Joaquín Garay).

La incertidumbre de la heterogeneidad, que son muestras con diferentes matrices, fue en este caso: $U_{\text{heterogeneidad}} = 14,94 \text{ mg/L}$ (ver Tabla 4).

Tabla 4
Análisis de SST de 5 muestras del río Huallaga

| | n | C(mg/L) |
|--|-----------|---------|
| | 1 | 216 |
| | 2 | 252 |
| | 3 | 224 |
| | 4 | 246 |
| | 5 | 236 |
| | media (X) | 234,8 |
| | s | 14,94 |
| | CV (%) | 6,4 |

En este caso, la incertidumbre relativa para concentraciones de SST de 230 mg/L fue del 10 %, o sea, 23 mg/L. La incertidumbre expandida del resultado para un 95 % de confianza fue de $U = 2 \times 23 = 46 \text{ mg/L}$ (ver Tabla 5).

Tabla 5
Estimación de la incertidumbre para la determinación de SST en el Laboratorio de Biotecnología, por validación del método

| Descripción | Valor, x | u(x) | u(x)/x | (u(x)/x) ² |
|-------------------|----------|-------|----------|-----------------------|
| u(precisión) | 225,5 | 12,15 | 0,053880 | 0,00290308 |
| u(trazabilidad) | 244,674 | 13,66 | 0,055829 | 0,00311692 |
| u(heterogeneidad) | 234,8 | 14,94 | 0,063629 | 0,00404860 |
| | | | *SUM | 0,01006861 |
| | | | **RCUAD | 0,10 |

*SUM: suma de las incertidumbres relativas elevadas al cuadrado.

**RCUAD: raíz cuadrada de la suma.

DISCUSIÓN

Los valores de la incertidumbre relativa obtenida con el método propuesto por la guía EURACHEM/CITAC fue del 6 %, y con el método de verificación de la trazabilidad fue del 10 %; la aproximación es por consiguiente razonable y con la ventaja de que el resultado obtenido con el segundo método es más simple. Calculando la incertidumbre relativa con el primer método, el componente de la repetibilidad es el de mayor peso, en tanto que con el segundo método los componentes de la incertidumbre tienen valores no tan diferenciados, debido a que utilizamos un estándar de comparación. Es pues este análisis difícilmente reproducible, por los errores sistemáticos y aleatorios presentes entre cada determinación.

La determinación de la incertidumbre, al identificar y valorar cada uno de los componentes del proceso de medición analítica, proceso denominado bottom-up; está fundamentado en la Guía ISO y los requerimientos de la Norma ISO/IEC 17025:2005 (EURACHEM/CITAC, 2015); pues bien, resulta en algunos casos difícil de estimar todas las fuentes de error implícitos, como en el caso simple que utilizamos de determinación de SST. Aunque se consideraron las principales fuentes de error (ver Figura 2), sin embargo, se excluyeron otras, como el proceso de secado en la estufa (error por variación de temperatura), error durante la filtración. En general,

en cada una de las siguientes etapas de un procedimiento analítico están implícitos errores que tendrían que tomarse en consideración en:

Muestreo ▼ Pretratamientos ▼ Separación ▼ Determinación.

Usualmente, nos basamos en la última etapa, y aún en ella obviamos algunas fuentes de error, como las mencionadas en este caso, debido a la dificultad para estimar su valor. Por ello, en la guía EURACHEM/CITAC ya se recomienda para la determinación de la incertidumbre, la inclusión de la información y el desarrollo de la validación de métodos, los resultados de procedimientos internos de control de calidad, los resultados de los estudios colaborativos y los ensayos de aptitud.

Por ello, el método propuesto por Maroto (2002), basado en la verificación de la trazabilidad en los resultados de ensayos de muestras reales, es una buena aproximación al método general propuesto en ISO y expuesto en la guía de EURACHEM/CITAC.

Los métodos indicados anteriormente para el cálculo de la incertidumbre también han sido considerados por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL) que, perteneciendo al INDECOP, elaboró la Directriz CRT-acr-09-D (2008); donde se contemplan diferentes formas para estimar la incertidumbre. Entre ellos, se utilizan los materiales de referencia certificados, participación de ensayos de aptitud, datos provenientes de la validación del método, etc. En el caso de la determinación de sólidos suspendidos, el ejercicio realizado partió de una referencia secundaria de carbonato de calcio, que no presenta buena recuperación por la sedimentación que se produce durante la agitación.

Torres (2011) encontró en el análisis de SST de tres muestras, diferentes incertidumbres relativas; por ejemplo, para concentraciones de 172 mg/L, la incertidumbre relativa obtenida fue del 8,5 %, lo cual fue calculado considerando únicamente la precisión de los instrumentos de laboratorio. Para los datos de las determinaciones realizadas en el Laboratorio de Biotecnología se obtuvo el 6 %. En una simulación de Montecarlo que realizó Torres (2011), se produjeron valores de incertidumbre relativa del 1,57 % para una concentración de 172 mg/L y del 7,64 % para una concentración de 600 mg/L.

Espinosa et al. (2009) obtuvieron durante un gran programa de valoración de la incertidumbre en aguas residuales, para el caso de SST, una concentración de 113 mg/L y una incertidumbre relativa del 6,2 %, utilizando la metodología ISO y EURACHEM/CITAC, en la que aún no le daban peso a la estimación agrupando términos. Estos resultados son comparables a la incertidumbre relativa obtenida del 6 %, según la guía EURACHEM/CITAC.

Báguena et al. (2007) indican que la incertidumbre se relaciona con un intervalo dentro del cual se encuentra el valor verdadero de la medida. Utilizando los nuevos criterios de incluir los datos de validación de un método, misma que comprende las diversas fuentes de errores aleatorios determinados por la precisión y de errores sistemáticos determinados por la exactitud.

En general en este proceso se deben proponer métodos más simples de la determinación de la incertidumbre; el propuesto por la verificación de la trazabilidad (Riu et al, 2002) es una excelente contribución, pero su estimación produce resultados más altos que el de la guía EURACHEM/CITAC e ISO, pues no incluye todas las fuentes de error, por lo que sería de gran ayuda para los laboratorios que se generen recomendaciones generales que faciliten este cálculo.

Referencias

- Analytical Methods Committee. (1995). *Comité de Métodos Analíticos: Incertidumbre de la medición: implicaciones para su uso en la ciencia analítica*. AMC.
- Rice, E., Baird, R., Eaton, A., y Clesceri L. (2012). *Standard Methods For the Examination of Water and Wastewater* (22a ed.). Amer Public Health Assn.
- Báguena, J., Gotor, G., Broto, F., y Blanco, M. (2007). Cálculo de la incertidumbre asociada a los resultados basado en la validación de un procedimiento de análisis. Aplicación en la determinación de cloruros por HPLC en lixiviados. *Revistes Catalanes amb Accés Obert*, 65(533), 11-19. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/281373>

- Espinosa, M., León, Y., Correo O., y Álvarez Y. (2009). Resultados en la estimación de la incertidumbre de la medición en ensayos de aguas residuales. *Revista cubana de química*, 21(1), 58-67. https://www.researchgate.net/publication/210636143_Resultados_en_la_estimacion_de_la_incertidumbre_de_la_medicion_en_ensayos_de_aguas_residuales
- EURACHEM-CITAC - Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry. (2015). *Cuantificación de la Incertidumbre en Medidas Analíticas* (3ª ed.). EuroLab España. https://www.citac.cc/QUAM2012_P1_ES.pdf
- Directriz CRT-acr-09-D. (2008, 3 de septiembre). Instituto Nacional de Defensa de la Competencia y de la Protección de la Propiedad Intelectual. Diario Oficial El Peruano. <https://www.yumpu.com/es/document/view/14127322/directriz-para-la-estimacion-y-expresion-de-indecopi>
- Maroto, A. (2002). *Incertidumbre en Métodos Analíticos de Rutina* [Tesis doctoral, Universitat Rovira I Virgili]. Repositorio URIV. https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/8987/tesis_Alicia_Maroto.PDF
- Maroto, A., Boqué, R., Riu, J., Rius, X. (2003) Cálculo de la incertidumbre en medidas químicas: Análisis cromatográfico. *Anal Chim Acta*. https://www.researchgate.net/publication/238752718_CALCULO_DE_INCERTIDUMBRE_EN_MEDIDAS_QUIMICAS_ANALISIS_CROMATOGRAFICO
- Organización Internacional de Normalización, Comisión Electrotécnica Internacional. (2005). *Norma Internacional ISO/IEC 17025*. <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso-iec:17025:ed-2:v1:es>
- Riu, J., Maroto, A., Boqué, R., y Xavier, F. (2002). Determinación de la trazabilidad de medidas químicas. *Centro de investigación y desarrollo tecnológico del agua*, 1-9. <https://cidta.usal.es/calidad/documentos/lab/9xTrazabilidad%20en%20medidas%20quimicas.pdf>
- Separovic, L., y Rebello, F. (2019). Measurement uncertainty and risk of false conformity decision in the performance evaluation of liquid chromatography analytical procedures. *Revista de análisis farmacéutico y biomédico*, 171, 73-80. <https://doi.org/10.1016/j.jpba.2019.04.005>
- Torres, A. (2011). Metodología para la estimación de la incertidumbre asociada a concentraciones de sólidos suspendidos totales mediante métodos de generación aleatoria. *Revista Tecno Lógicas*, (26), 181-200. <http://www.scielo.org.co/pdf/teclo/n26/n26a11.pdf>
- Comité Conjunto de Guías en Metrología - Centro Español de Metrología. (2012). *VIM. Vocabulario Internacional de Metrología. Conceptos fundamentales y generales y términos asociados*. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. <https://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-012web.pdf>

Fuentes de financiamiento

La investigación fue realizada con recursos propios.

Conflictos de interés

El autor declara no tener conflictos de interés.

Correspondencia:

Herman Tarazona Mirabal
E-mail: herman.tarazona@udh.edu.pe