

Técnica espectroscópica de absorción atómica para determinaciones en química ambiental

Atomic absorption spectroscopic technique for determinations in environmental chemistry

Peñaloza Dámaris Jael, damirael411@gmail.com¹; Barúa María Gloria, mbarua@uarg.unpa.edu.ar¹; Escalada Juan Pablo, jescalada@uarg.unpa.edu.ar¹; Pajares Adriana Mabel, apajares@live.com^{1,2}

¹Instituto de Tecnología Aplicada (ITA), Universidad Nacional de la Patagonia Austral - Río Gallegos, Argentina

²Departamento Ingeniería Química, Universidad Nacional de la Patagonia San Juan Bosco - Comodoro Rivadavia, Argentina

Recibido:02/03/2023 Aceptado:03/05/2023.

RESUMEN

Los metales pesados son de gran interés en química ambiental debido, principalmente, al impacto negativo que presentan dichos elementos no degradables en el medio ambiente. La técnica espectroscópica de absorción atómica (AA) es una de las más utilizadas para la determinación de metales. En este contexto, nos enfocamos en la determinación cuantitativa de hierro (Fe), plomo (Pb) y zinc (Zn) haciendo uso del equipo Perkin Elmer AA200 y el software WinLab32. Se realizó la validación del método analítico utilizado, verificando los parámetros de linealidad y límite de detección, obteniendo para el Fe linealidad hasta 3 mg/l, para el Pb hasta 10 mg/l y para el Zn hasta 0,75 mg/l. Los límites de detección calculados fueron aproximadamente 8, 25 y 2 ppb; respectivamente. Se puede concluir que la técnica utilizada podría resultar factible para la determinación de estos metales pesados en aguas superficiales, colectoras pluviales y canales en la provincia de Santa Cruz, como así también para analizar contenido metálico en agua destinada al consumo humano, ya que los límites admisibles por la ley de evaluación de impacto ambiental de la provincia y el código alimentario argentino, son superiores a los obtenidos.

Palabras claves: metales pesados; absorción atómica; linealidad; límite de detección.

ABSTRACT

Heavy metals are of great interest in environmental chemistry, mainly due to the negative impact that these non-degradable elements have on the environment. The atomic absorption spectroscopic technique (AA) is one of the most used for the determination of metals. In this context, we focus on the quantitative determination of iron (Fe),



lead (Pb) and zinc (Zn) using the Perkin Elmer AA200 equipment and the WinLab32 software. The validation of the analytical method used was carried out, verifying the parameters of linearity and detection limit, obtaining linearity for Fe up to 3 mg/l, for Pb up to 10 mg/l and for Zn up to 0.75 mg/l. The calculated detection limits were approximately 8, 25 and 2 ppb; respectively. It can be concluded that the technique used could be feasible for the determination of these heavy metals in surface water, rainwater collectors and canals in the province of Santa Cruz, as well as for analyzing metal content in water destined for human consumption, since the limits admissible by law environmental impact assessment of the province and the Argentine food code, are higher than those obtained.

Keywords: heavy metals; atomic absorption; linearity; detection limit.

INTRODUCCIÓN

Se define como metales pesados a los metales con una densidad atómica $>4,5 \text{ g cm}^{-3}$. La presencia de estos en el medio ambiente se origina a partir de procesos geogénicos, por disolución natural de rocas y minerales, y antropogénicos, por la actividad minera, la utilización de agroquímicos y aguas residuales de la actividad industrial y urbana. [1–3] Los metales pesados son extremadamente peligrosos debido a su naturaleza tóxica, persistente y bioacumulativa. [4] Entre estos metales pesados, algunos son extremadamente dañinos, como el mercurio (Hg), el arsénico (As) y el plomo (Pb), incluso en cantidades mínimas. Otros como el zinc (Zn) y el hierro (Fe) son esenciales para un organismo vivo. Sin embargo, dosis altas de estos metales podrían generar efectos adversos en la salud humana [5]. Por ello, la determinación y el monitoreo de los contaminantes metálicos no degradables presentes en fuentes hídricas es de suma importancia. La espectroscopia de absorción atómica (AA) es una de las técnicas más utilizadas para la determinación de metales. Si bien existen otras técnicas con mayor sensibilidad, resulta sumamente útil para monitorear las concentraciones presentes de hierro, plomo y zinc en cuerpos de aguas superficiales, colectores pluviales y canales propuestas por la ley 2658. [6, 7]

Este trabajo formó parte de la beca de iniciación a la investigación otorgada por la Universidad Nacional de la Patagonia Austral cuyos objetivos fueron:

1. Puesta a punto del equipo Perkin Elmer AAnalyst 200.
2. Adquisición de conocimiento y destreza en la utilización del software “WinLab32 for AA”.
3. Construcción de las curvas de calibración y validación del método para la medición de Fe, Pb y Zn.

MARCO HISTÓRICO

El término espectroscopia significa la observación y el estudio del espectro. Uno de los pioneros en la espectroscopia fue Isaac Newton, quien a principios de 1600 observó y estudió el

comportamiento de la luz solar cuando esta atraviesa por un prisma. En 1831, J.F. Herschel demostró que las sales de diferentes metales producen distintas coloraciones a la flama cuando las sales disueltas o en forma directa son puestas en contacto con esta. Así, por ejemplo, las sales de calcio dan a la flama un color naranja, las de sodio un color amarillo, las de potasio un color violeta, las de cobre un verde azulado, etc. Estas observaciones fueron corroboradas posteriormente por otros investigadores, sugiriendo que de esta forma podría identificarse el metal formador de la sal en un compuesto químico específico. Kirschhoff y Bunsen en 1859 ampliaron el conocimiento de la naturaleza de este fenómeno, haciendo incidir la luz colorida producida por el metal en la flama en un depósito óptico que separa la radiación emitida por el metal, de la luz solar. En este instrumento, que fue llamado espectroscopio, se observó que cada metal que emite radiación de diferente color, presenta líneas que aparecen en diferentes posiciones en la pantalla o campo de observación, y esto depende exclusivamente del metal, independientemente de las condiciones en que se realiza el experimento, así como de la naturaleza de la sal metálica y adicionalmente, se registra una relación directa entre la intensidad de la línea y la concentración del elemento en solución. Como se ha mencionado, el potencial de la espectroscopia en el análisis cuantitativo era conocido desde fines del siglo pasado; sin embargo, su desarrollo y amplia aplicación en el análisis químico es tan reciente que apenas en 1952, en la Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), División de Química Física, en Melbourne- Australia, se desarrolló el primer equipo comercial de espectroscopia de absorción atómica para la cuantificación de metales. [8]

MARCO TEÓRICO

La técnica espectroscópica de absorción atómica (AA) es de gran interés en química ambiental porque permite determinar la concentración de un determinado elemento presente en una muestra.

En un equipo de AA, la muestra es aspirada hacia el nebulizador (Ver imagen 1) y se atomiza mediante una flama. La mezcla Aire/Acetileno permite atomizar aproximadamente 35 elementos a una temperatura de 2300 °C mientras que la mezcla Óxido nitroso/Acetileno es útil cuando se requiere de mayor temperatura para atomizar la muestra (2900 °C).

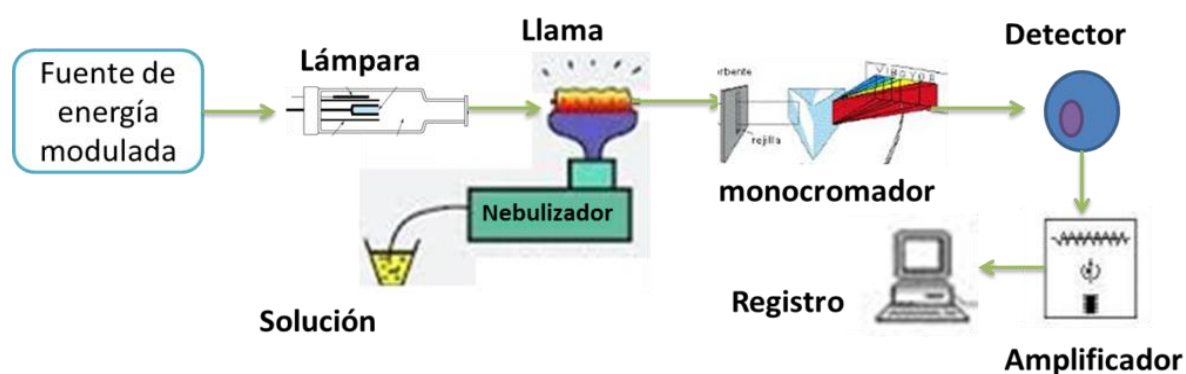


Imagen 1 – Diagrama de componentes de un espectrómetro de AA.

Una vez atomizada, ésta es iluminada por una lámpara de cátodo hueco que consta de un cilindro de vidrio hueco sellado con un gas de neón o argón en su interior y construido ya sea total o parcialmente con el metal de interés; la luz es absorbida por la muestra y la energía saliente atraviesa un detector.

El fundamento teórico de la técnica podría describirse del modo siguiente:

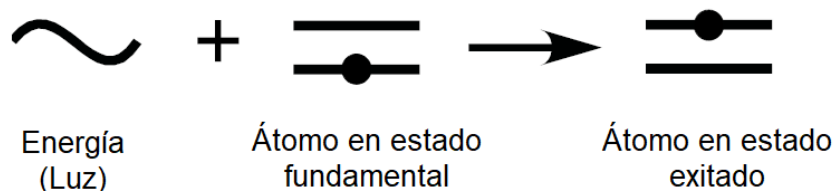


Imagen 2 – Proceso de absorción atómica

Los electrones de los átomos absorben la energía necesaria (luz de una determinada longitud de onda) para ser promovidos a orbitales más altos, es decir, se produce la transición de electrones al estado excitado por un instante.

Dado que la cantidad de energía de la llama y la que llega al detector son datos conocidos, es posible medir el número de transiciones que se verifican, aplicando la ley de Lambert-Beer. Por lo tanto, la señal que se obtiene es proporcional a la concentración del elemento que se mide.

$$A = \varepsilon \times b \times c \quad \text{eq. (1)}$$

Ley de Lambert-Beer

Dónde:

A: Absorbancia de la disolución a una longitud de onda dada (Adimensional)

ε: Coeficiente de extinción molar ($M^{-1} cm^{-1}$)

b: Longitud de paso de la celda (cm)

c: Concentración de la disolución (M)

Para la validación del método se determinaron dos parámetros de relevancia analítica: Linealidad y Límite de detección.

La *linealidad* hace referencia al rango de absorbancia en el que la respuesta del instrumento es proporcional a los cambios de concentración del analito en intervalos donde se verifica la ley de Lambert-Beer.

El *límite de detección* se define como “la concentración del elemento que producirá una relación señal/ruido de 3”. Básicamente, representa la concentración más baja que se puede medir y diferenciar claramente de cero.

Para establecer el límite de detección, se parte de la definición de *concentración característica* (o sensibilidad). Refiere a la concentración de un elemento (expresada en mg/l) necesaria para producir una señal de absorción del 1% (0,0044 absorbancia unidades), siempre que las mediciones se realicen dentro del rango de linealidad.

$$\text{Concentración característica} = \frac{\text{Concentración estándar} \times 0.0044}{\text{Medida de absorbancia}} \quad \text{eq. (2)}$$

Una aplicación relevante del concepto de concentración característica, es la posibilidad de corroborar la puesta a punto y el correcto funcionamiento del equipo, cumpliendo con las especificaciones del fabricante. [9]

Los parámetros antes mencionados fueron determinados para 3 elementos metálicos:

- **Hierro:** Es uno de los elementos más comunes presente en el agua al ser uno de los más abundantes en la corteza terrestre. Es un metal muy tóxico dada su rápida absorción en el tracto gastrointestinal. La naturaleza corrosiva de la especie en las tuberías le otorga ciertas propiedades al agua como sabor metálico, color rojizo y turbidez. [10]
Límite de concentración para agua superficial: 2000 microgramos/litro. [6, 7]
Límite de concentración para agua destinada al consumo humano: 300 microgramos/litro. [11]
- **Plomo:** Aparece en el ambiente como producto de diferentes actividades humanas como la minería, quema de un combustible fósil, fundiciones, fabricación y empleo de pinturas. Este metal también se encuentra involucrado en la fabricación de baterías de ácido-plomo, entre otros. Si bien no suele provocar intoxicaciones agudas se debe tener cuidado con la exposición a largo plazo. [10, 12]
Límite de concentración para agua superficial: 500 microgramos/litro. [6, 7]
Límite de concentración para agua destinada al consumo humano: 50 microgramos/litro. [11]
- **Zinc:** Altamente tóxico para la ganadería y la agricultura. Si bien sus efectos sobre el agua potable destinada a la población no son muy conocidos, ha adquirido gran importancia la detección conjunta a otros elementos contaminantes como el mercurio y el aluminio, entre otros. [13, 14]
Límite de concentración para agua superficial: 2000 microgramos/litro. [6, 7]
Límite de concentración para agua destinada al consumo humano: 5000 microgramos/litro. [11]

RESULTADOS, ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

Materiales y métodos

Materiales

- Solución estándar de hierro 999 ± 2 mg/ l marca MERCK



- Solución estándar de plomo 1000 ± 2 mg/l marca MERCK
- Solución estándar de zinc 999 ± 2 mg/ l marca MERCK
- Ácido nítrico al 65%

Equipos

- Perkin Elmer AAnalyst 200
- Sonicador

Métodos

- Hierro

Oxidante/Combustible: Aire/Acetileno

Flujo de Oxidante/Combustible (l/min): 10 y 2.5, respectivamente.

Longitud del quemador (cm): 10

Longitud de onda (RECOMENDADA): 248.33 nm

Ranura: 1.8/1.35 mm

Lámpara/Corriente: Lámpara de cátodo hueco Perkin Elmer™ Lumina™ Lamp Fe
OPERATE 30 MAX 30

- Plomo

Oxidante/Combustible: Aire/Acetileno

Flujo de Oxidante/Combustible (l/min): 10 y 2.5, respectivamente.

Longitud del quemador (cm): 10

Longitud de onda (RECOMENDADA): 283.31 nm

Ranura: 2.7/1.05 mm

Lámpara/Corriente: Lámpara de cátodo hueco Perkin Elmer™ Lumina™ Lamp Pb
OPERATE 10 MAX 12

- Zinc

Oxidante/Combustible: Aire/Acetileno

Flujo de Oxidante/Combustible (l/min): 10 y 2.5, respectivamente

Longitud del quemador (cm): 10

Longitud de onda (RECOMENDADA): 213.86

Ranura: 2.7/1.8 mm

Lámpara/Corriente: Lámpara de cátodo hueco Perkin Elmer™ Lumina™ Lamp Zn
OPERATE 15 MAX 20

Análisis y discusión de resultados

PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO

Para la puesta a punto del equipo Perkin Elmer AAnalyst 200 se llevaron a cabo tres procesos: Alineación de lámparas de cátodo hueco del metal de interés, Optimización del quemador y Ajuste del nebulizador. [15]

Siendo el primero un procedimiento semiautomático y los últimos dos, manuales.



En primer lugar, se llevó a cabo la *alineación de la lámpara* a través del software WinLab32 para garantizar el paso de la máxima energía radiante hacia el detector optimizando el camino óptico. Como bien dijimos, es un proceso automático. A través del software se enciende la lámpara y el sistema se encarga de configurar la ruta óptica, alcanzar el pico de la longitud de onda, configurar la rendija y realizar un control de ganancia e intensidad. [15]

NOTA: Cabe recalcar que, para obtener un rendimiento óptimo, la lámpara se debe calentar de 5 a 10 minutos.



Imagen 3 – Equipo Perkin Elmer AAnalyst 200

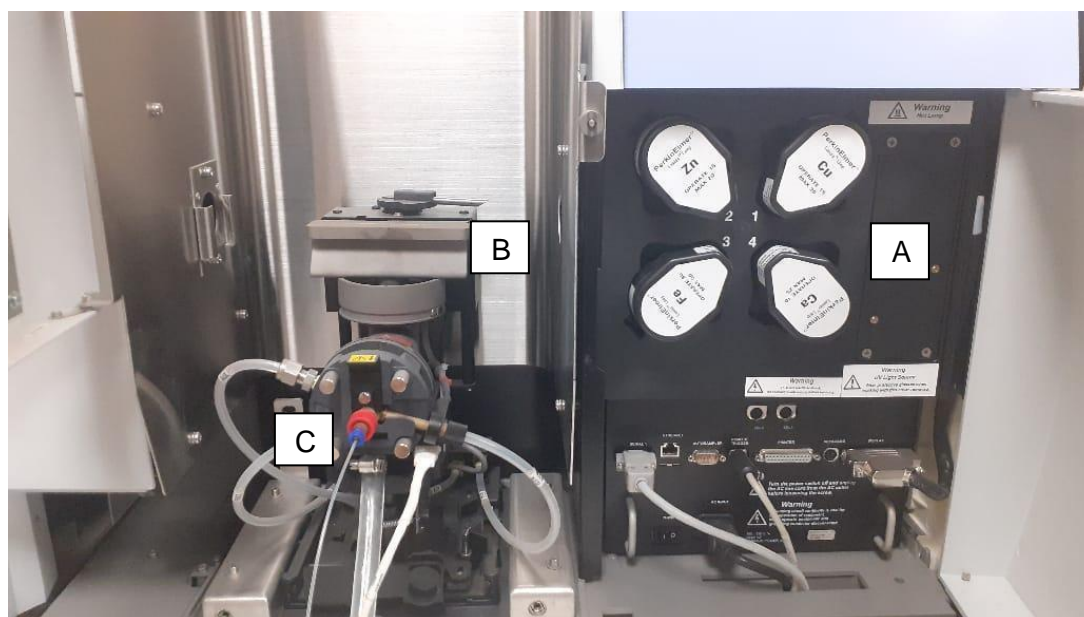


Imagen 4 – Ubicación de Lámparas (A), Quemador (B) y Nebulizador (C)

Optimización del quemador: se realizó el ajuste manual del cabezal del quemador, ubicando a este justo por debajo del haz de radiación. En esta disposición, el haz atraviesa por la región que contiene una elevada concentración de átomos libres del analito de interés. Para ello se utilizó una tarjeta con el fin de centrar el haz de radiación sobre la ranura del quemador. Una

vez centrado, bajamos el quemador por debajo del haz de radiación y realizamos un Auto Zero Graph (lectura de absorbancia cero), procedemos a levantar el quemador hasta obtener entre 0,002 y 0,004 de absorbancia y finalmente bajamos lentamente hasta obtener nuevamente una absorbancia cero. [15]

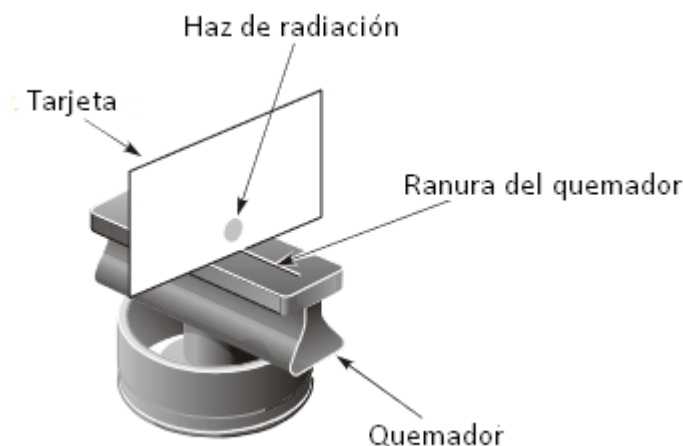


Imagen 5 – Ubicación de la tarjeta por encima del quemador para ubicar el haz de radiación.

NOTA: Si es la primera vez que lo utiliza o el quemador fue desmontado se debe llevar a cabo el ajuste manual.

Calibración del nebulizador: Se debe configurar la velocidad de aspiración, ya que ésta puede verse afectada por la viscosidad, densidad y tensión superficial. Para realizar correctamente este proceso, durante la aspiración se debe utilizar una solución estándar adecuada con una composición similar a las muestras. Posteriormente, se giró en sentido anti horario el nebulizador hasta el inicio de burbujeo en la solución. Una vez realizado este paso repetimos nuevamente el proceso, pero en sentido horario, hasta observar un pico máximo de absorbancia. En este punto se bloqueó la posición del nebulizador con el fin de evitar desajustes accidentales.

DETERMINACIÓN DE METALES

Mediciones exactas, exigen aparatos de medición exactos y un manejo correcto. Con el fin de evaluar los aparatos volumétricos utilizados en el laboratorio se prepararon una serie de soluciones madres de hierro (Fe) en ácido nítrico al 5% a diferentes volúmenes: 100, 500 y 1000 ml. Cada una con sus respectivas disoluciones de 0.5; 1 y 1.5 mg/l. Las diluciones de la solución madre de 100 ml fueron preparadas en matraces volumétricos aforados de 25 ml utilizando micropipeta automática de rango 0,2 y 1 ml. En el caso de las diluciones de la solución madre de 500 ml y 1000 ml se prepararon en matraces volumétricos aforados de 100 ml utilizando buretas de 25 ml.

Los resultados obtenidos de esta experiencia determinaron la metodología de preparación de soluciones a lo largo del proyecto.

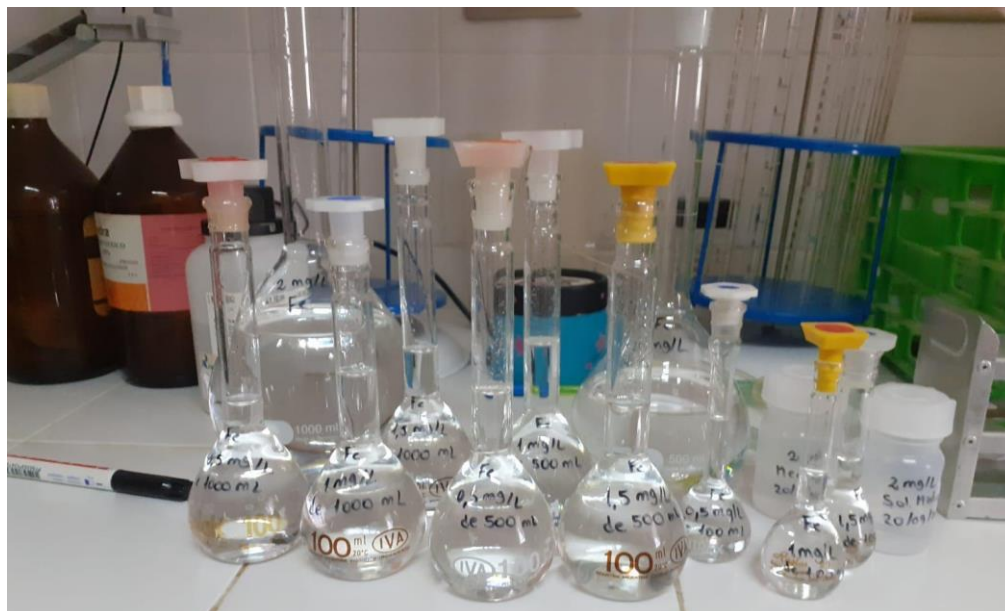


Imagen 6 – Patrones de hierro en volúmenes de 100, 500 y 1000 ml

Los gráficos 1, 2 y 3 muestran las curvas de calibración obtenidas a partir de las diluciones de las soluciones madres preparadas en volúmenes de 100, 500 y 1000 ml respectivamente. En estos podemos observar que las pendientes tienen un valor aproximadamente igual, lo que indica las tres metodologías serían igualmente válidas para la determinación del analito.

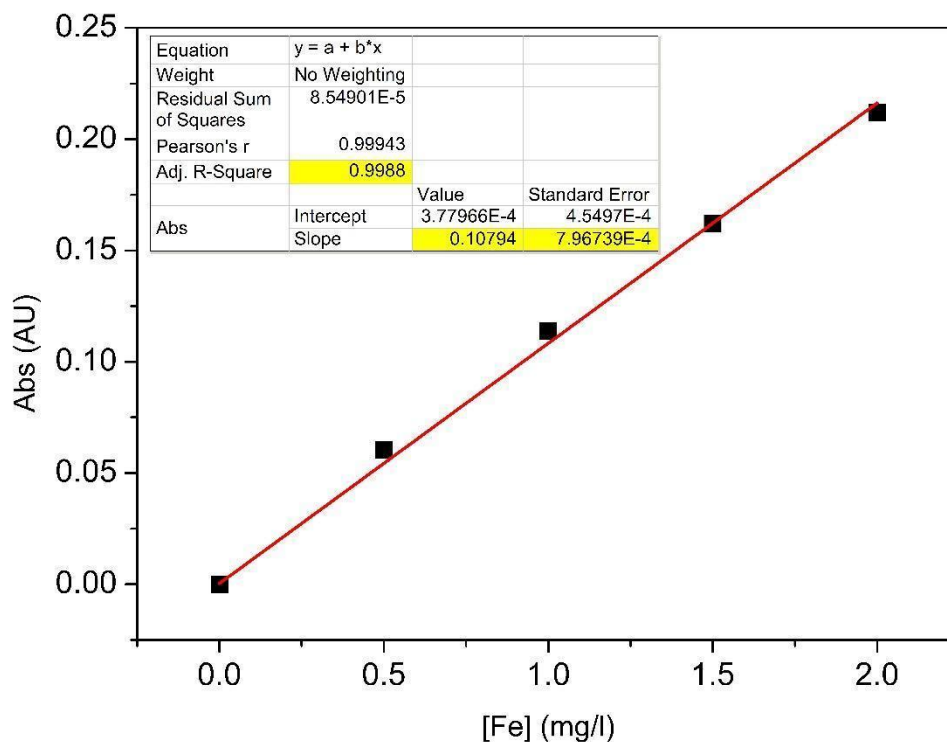


Gráfico 1 – Curva de calibración de Fe para solución madre de 100 ml.

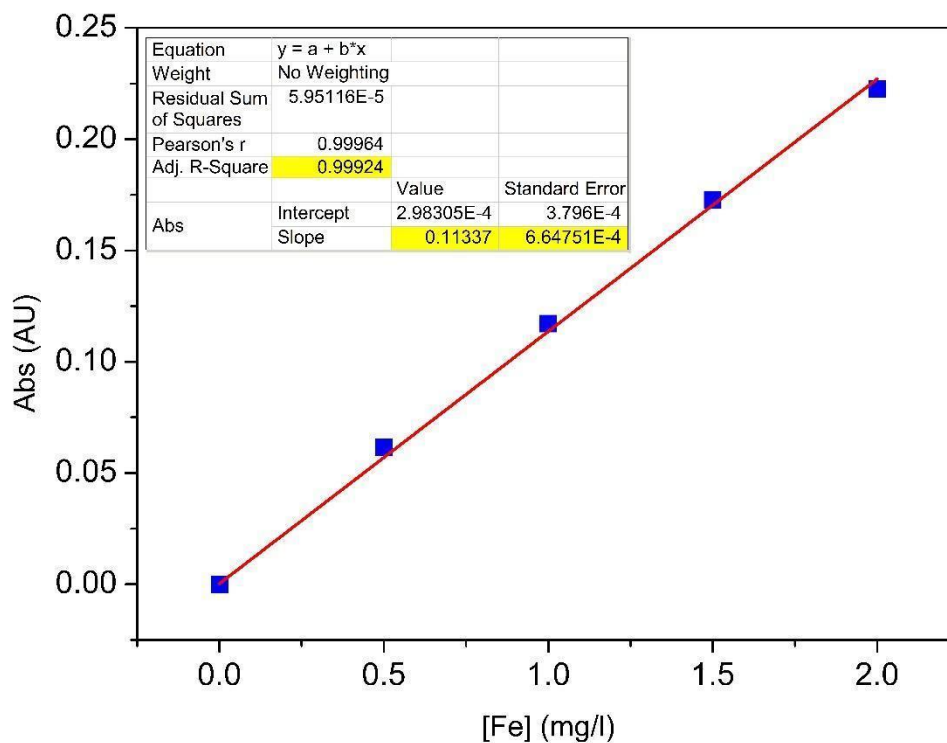


Gráfico 2 – Curva de calibración de Fe para solución madre de 500 ml.

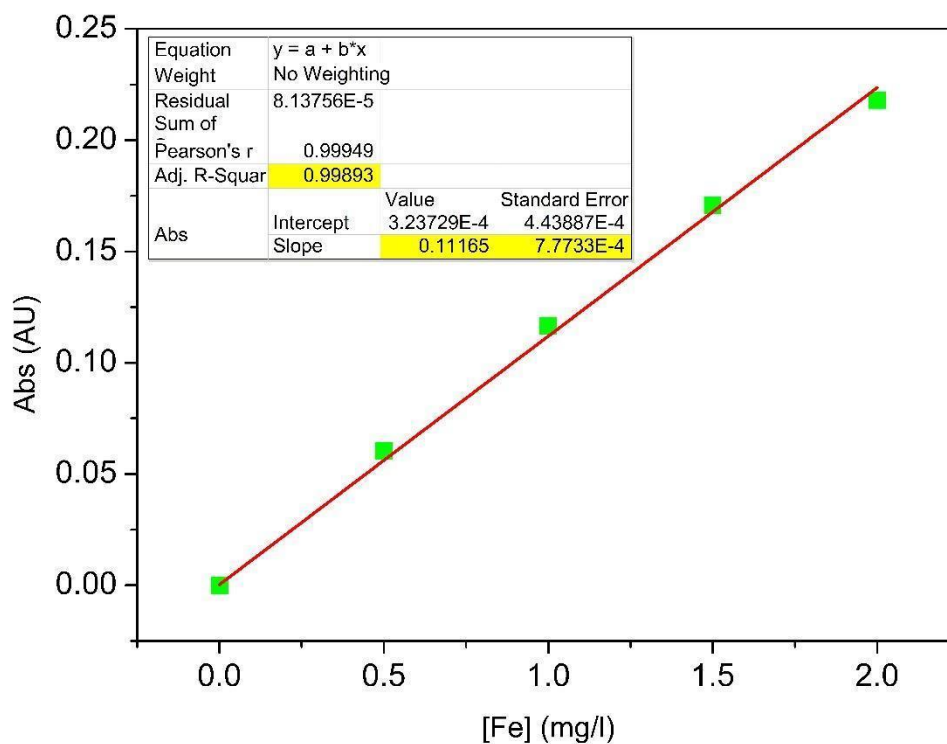


Gráfico 3 – Curva de calibración de Fe para solución madre de 1000 ml.

Para evaluar la repetitividad de las medidas, se realizaron determinaciones por triplicado, obteniendo muy poca dispersión de los datos en todos los casos. Sin embargo, el menor error se observó en las medidas de solución madre de 100 ml. (ver tabla 1 y gráficos 4-6)

Si bien, al trabajar con volúmenes mayores se reducen los errores sistemáticos, error en la curva de solución madre de 500 ml que podría relacionarse al error inherente a la utilización de instrumental de vidrio. En las curvas de la solución madre de 100 ml se utilizaron micro pipetas automáticas, lo que aumentó la precisión y reproducibilidad de los datos.

Solución madre de	100 ml	500 ml	1000 ml
Primera Medición	0,0832665419	0,08798484529	0,08651050803
Duplicado	0,08229309206	0,08561447308	0,08641392828
Triplicado	0,08374268326	0,08794994599	0,08796295811

Tabla 1 - Desviación estándar obtenida para cada medida.

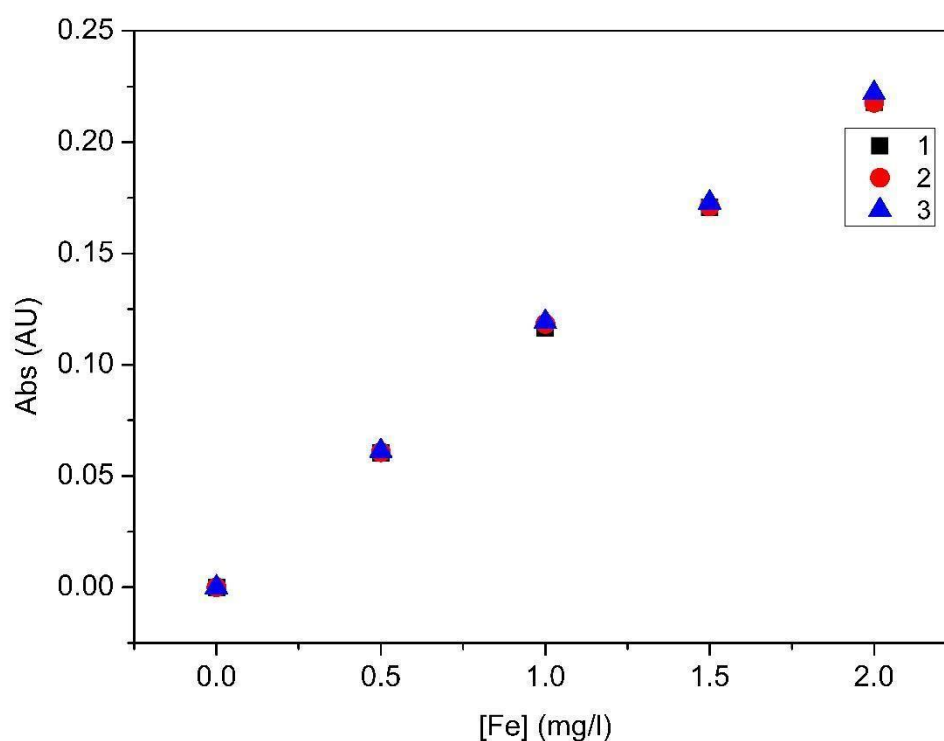


Gráfico 4 – Soluciones de Fe en un volumen de 100 ml por triplicado.

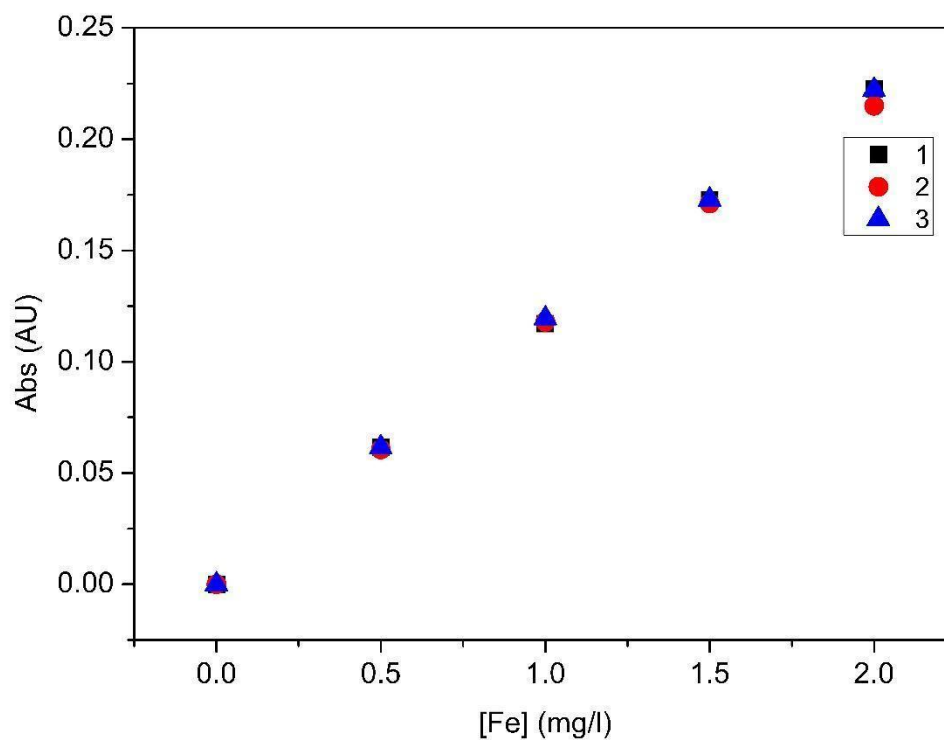


Gráfico 5 – Soluciones de Fe en un volumen de 500 ml por triplicado.

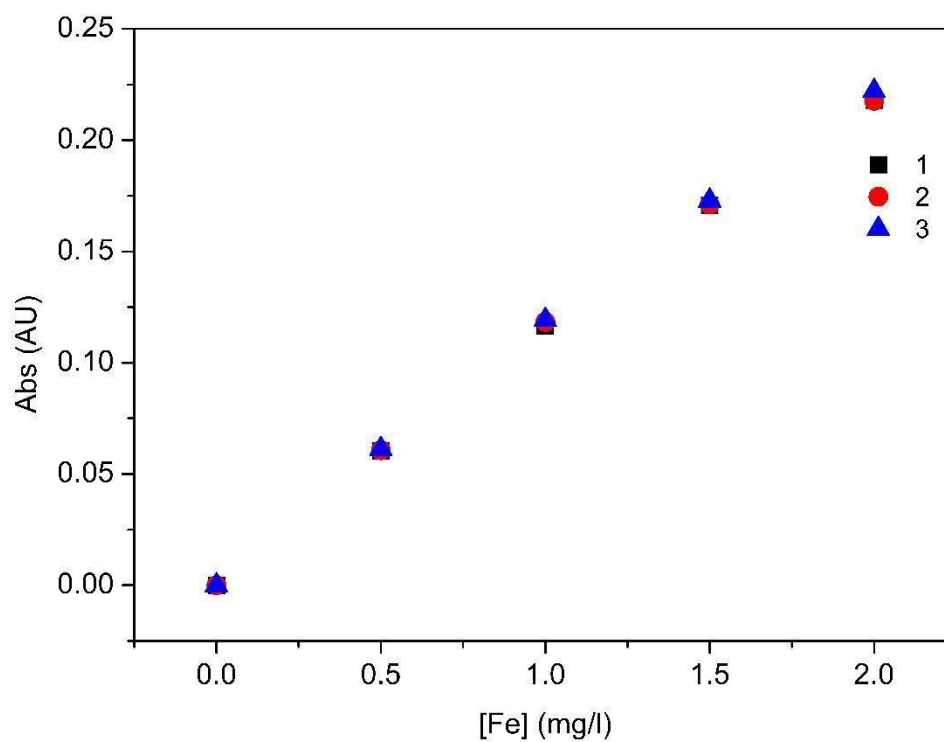


Gráfico 6 – Soluciones de Fe en un volumen de 1000 ml por triplicado.

Validación del método analítico



Para el cálculo de linealidad se consideraron las condiciones estándar para cada metal, sin instalación del espaciador del nebulizador, recomendadas por el fabricante. Las tablas 2, 3 y 4 muestran, a modo de ejemplo, los valores de longitud de onda, concentración característica y linealidad. Siendo la zona resaltada, las especificaciones que se utilizaron en las mediciones.

Longitud de onda (nm)	Ranura (mm)	Ruido relativo	Conc. car. (mg/l)	Comprob. sensibil. (mg/l)	Lineal a (mg/l)
248.33	1.8/1.35	1	0.04	2	3
302.06	1.8/0.6	0.46	0.16	7	0
305.91	1.8/0.6	0.4	0.86	36	---
346.59	1.8/0.6	0.52	3.6	180	---

Tabla 2 - Condiciones estándar para el hierro sin instalar el espaciador del nebulizador.

Para verificar la linealidad del método se preparó una serie de patrones de 1, 2, 3, 4, 6 y 8 mg/l. La representación gráfica de las medidas permitió observar las desviaciones de la linealidad.

Siguiendo la misma metodología para los metales restantes, llevamos a cabo la preparación de los siguientes patrones:

Plomo → 1.5, 3, 6, 9, 15 y 30 mg/l

Zinc → 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 1 y 1.5 mg/l

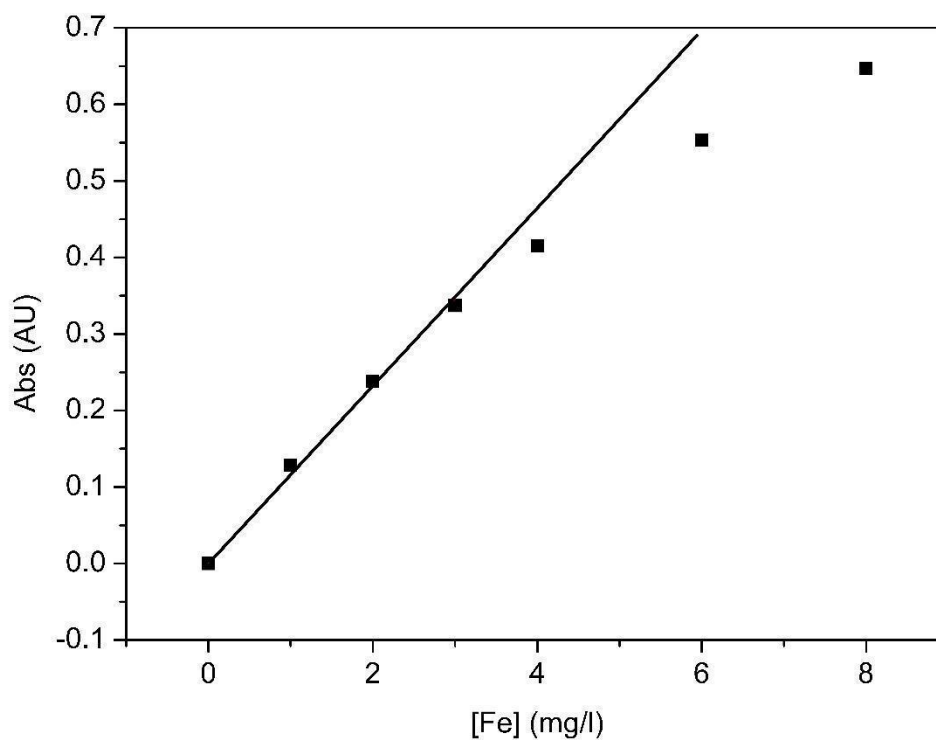


Gráfico 7 - Linealidad del hierro.

Longitud de onda (nm)	Ranura (mm)	Ruido relativo	Conc. car. (mg/l)	Comprob. sensibil. (mg/l)	Lineal a (mg/l)
283.31	2.7/1.05	0.43	0.18	8	10
217.00	2.7/1.35	1	0.07	3.6	7.5
205.33	2.7/1.8	1.4	2	100	---
261.42	2.7/1.05	0.35	4.4	200	---

Tabla 3 - Condiciones estándar para el plomo sin instalar el espaciador del nebulizador.

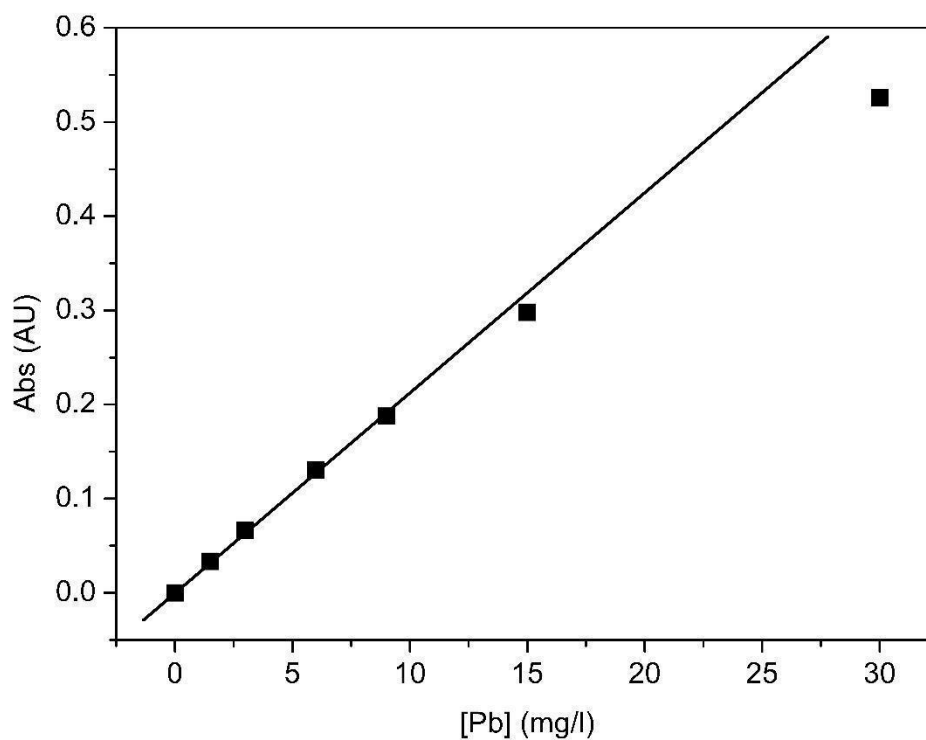


Gráfico 8 - Linealidad del plomo.

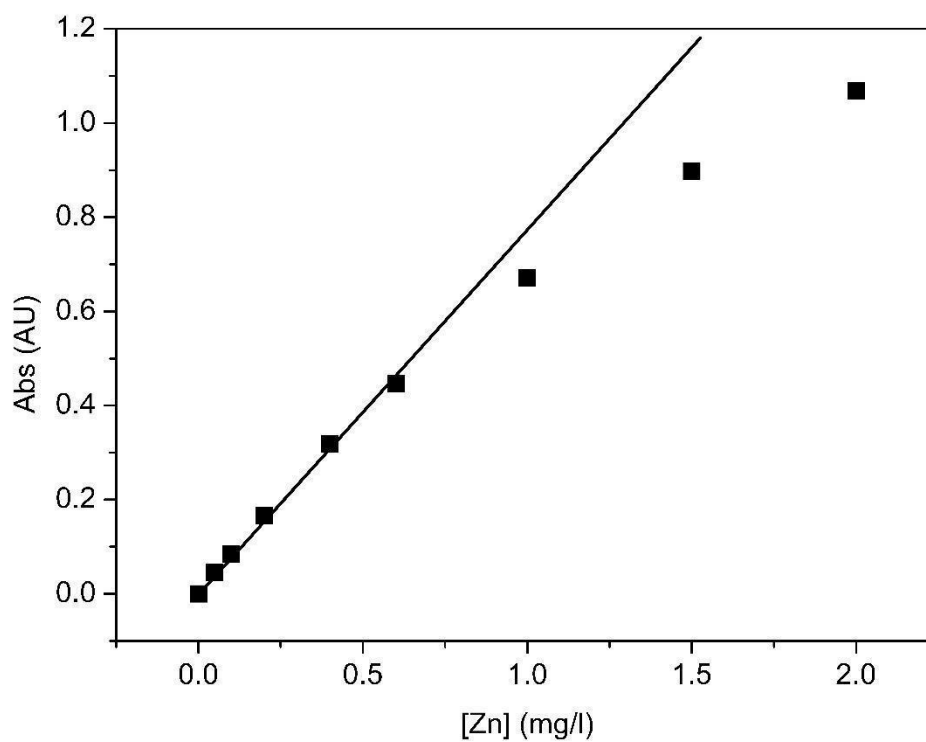


Gráfico 9 - Linealidad del zinc.

Longitud de onda (nm)	Ranura (mm)	Ruido relativo	Conc. car. (mg/l)	Comprob. sensibil. (mg/l)	Lineal a (mg/l)
213.86	2.7/1.8	1	0.006	0.3	0.75
307.59	2.7/0.8	0.38	25	1000	---

Tabla 4 - Condiciones estándar para el zinc sin instalar el espaciador del nebulizador.

Los gráficos 7, 8 y 9 muestran que la linealidad obtenida con el método de estudio cumple con los valores del fabricante mostrados en las tablas 2, 3 y 4. Es decir, el hierro es lineal a 3, el plomo a 10 y el zinc a 0,75 mg/l.

Una vez determinado el límite superior en la que el método cumple con la ley de Lambert-Beer procedimos a determinar el límite inferior, es decir, la concentración más baja que se puede medir (límite de detección). Para ello se aplicó el método especificado por el manual del equipo Perkin Elmer. [9]

Para aplicarlo, se partió de un límite de detección supuesto y, a partir de este, se prepararon dos soluciones patrones, una de baja y otra de alta concentración de 100 ml, a fin de registrar, como mínimo, 15 mediciones de cada una, alternando con un blanco.

El orden para efectuar las medidas fue blanco, estándar de concentración baja, blanco, estándar de concentración alta, blanco...; repitiendo la secuencia hasta obtener al menos unas 60 mediciones.

Para estas mediciones se realizaron las curvas de calibración dentro del rango requerido para cada metal (gráficos 10,11 y 12). Una vez supuesto un valor, el patrón de concentración baja se calculó como 5 veces el límite de detección supuesto y el patrón de concentración alta como el doble de la concentración baja (es decir, 10 veces el límite de detección supuesto).

Los datos se evaluaron matemáticamente según se describe a continuación:

- 1) Se restaron las concentraciones obtenidas y el promedio de los blancos calculados antes y después de medir el patrón.

Por ejemplo, si se obtuvieron las siguientes mediciones:

Blanco = -0,024

Concentración baja = 0,104

Blanco = -0,021

Concentración alta = 0,221

Blanco = -0,020

$$C_{\text{Baja, corregida}} = 0,104 - \frac{-0,024 + (-0,021)}{2} = 0,1265$$

$$C_{\text{Alta, corregida}} = 0,221 - \frac{-0,021 + (-0,020)}{2} = 0,2415$$

Se realiza un procedimiento similar para las mediciones restantes de cada metal.

- 2) A partir de las concentraciones corregidas se obtuvo un promedio y desviación estándar correspondiente a cada patrón.
- 3) Se verificó que la razón de las concentraciones corregidas corresponda a la razón de los patrones de concentración alta y baja.
- 4) Se calculó el límite de detección según la ecuación 3 (eq. 3).

Los resultados obtenidos se muestran en la tabla 5.

$$\text{Límite de detección} = \frac{\text{Concentración estándar} \times 3 \text{ desviación estándar}}{\text{media}} \quad (\text{eq.3})$$

	HIERRO	PLOMO	ZINC
Límite de detección supuesto (mg/l)	0.02	0.1	0.006
Patrón de concentración baja (mg/l)	0.1	0.5	0.03
Patrón de concentración alta (mg/l)	0.2	1	0.06
Promedio de C. corregida Baja (mg/l)	0.0997	0.5553	0.028
Promedio de C. corregida Alta (mg/l)	0.1955	1.1133	0.057
Desv. Estándar Baja	0.0022	0.0088	6,726E-04
Desv. Estándar Alta	0.0033	0.0095	7,237E-04
Límite de detección Baja (mg/l)	0.0066	0.02394	2,149E-03
Límite de detección Alta (mg/l)	0.0101	0.02576	2,279E-03

Tabla 5 - Límite de detección para estándar alto y bajo de cada metal.

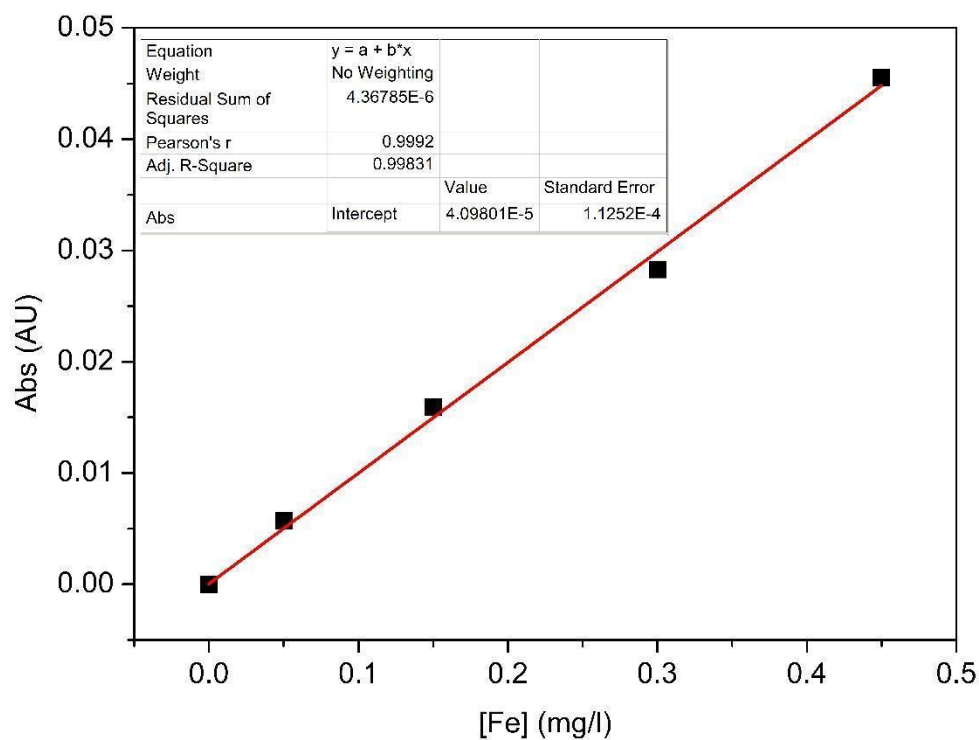


Gráfico 10 - Curva de calibración utilizada para el cálculo del límite de detección del Fe.

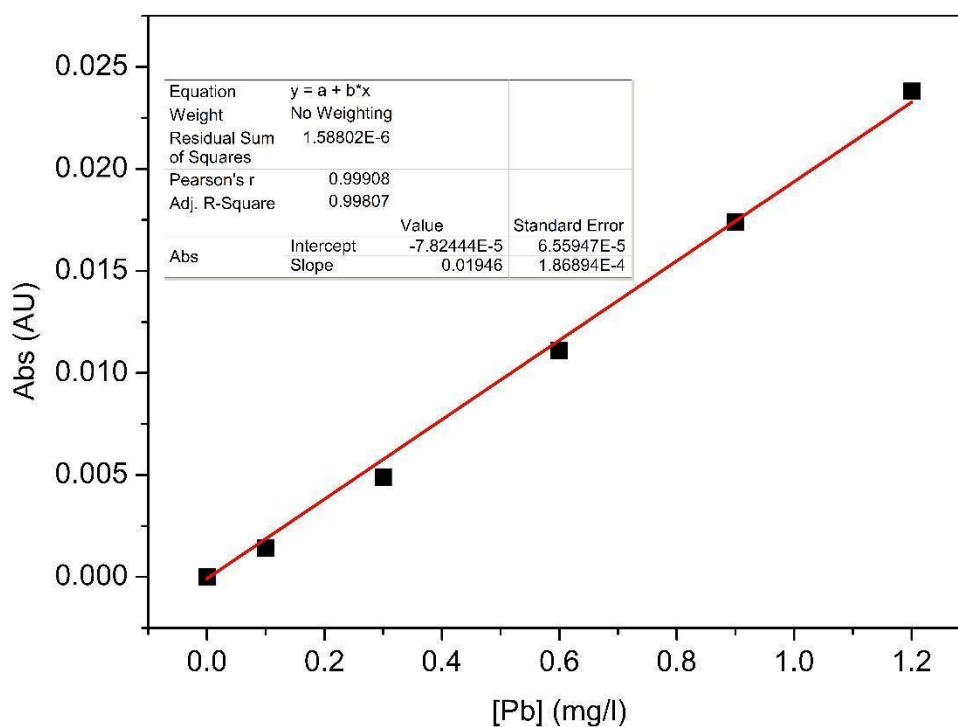


Gráfico 11 - Curva de calibración utilizada para el cálculo del límite de detección del Pb.

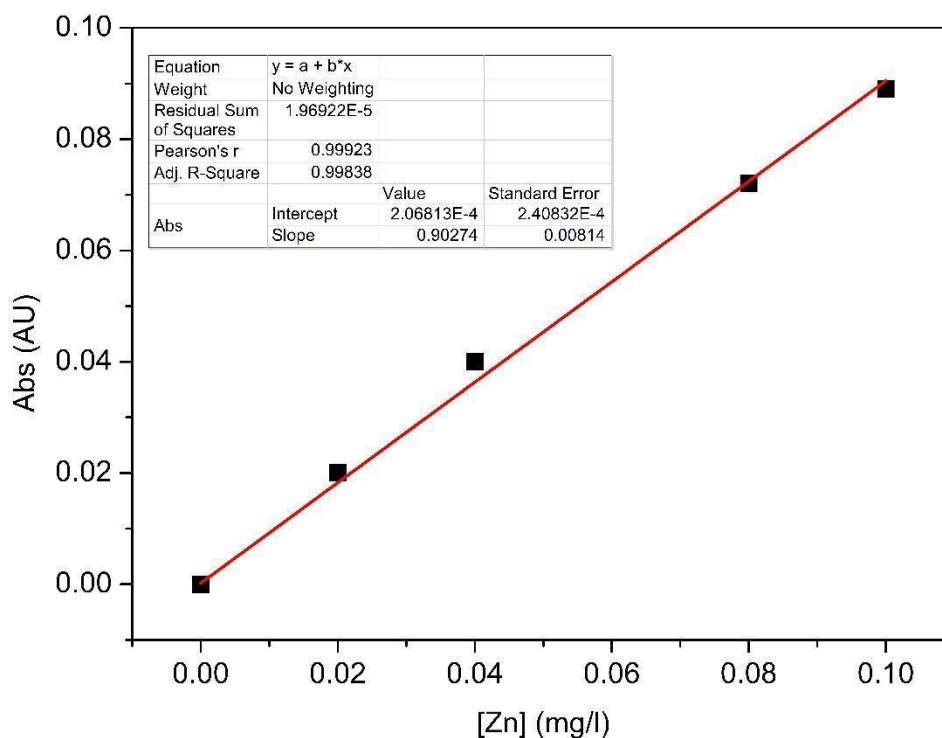


Gráfico 12 - Curva de calibración utilizada para el cálculo del límite de detección del Zn.

Los límites de detección obtenidos fueron, aproximadamente, 8 ppb para el Hierro, 25 ppb para el Plomo y 2 ppb para el Zinc.

CONCLUSIÓN

- Trabajar con volúmenes menores e instrumental automático o semiautomático generan datos más precisos, disminuye el error y reduce los tiempos de preparación y los costos de insumos.
- A partir de los límites de detección calculados para cada uno de nuestros metales, es posible afirmar que la técnica podría resultar potencialmente factible para:
 - determinar las concentraciones de Fe, Pb y Zn admisibles en cuerpos de aguas superficiales, colectores. pluviales y canales según la ley de evaluación de impacto ambiental (Ley N° 2658) para la provincia de Santa Cruz. Los valores admitidos para el hierro, plomo y zinc son menores a 2000, 500 y 2000 ppb; respectivamente.
 - determinar la concentración de estos metales dentro de los límites admisibles para agua destinada al consumo humano que establece el Código Alimentario Argentino en el capítulo XII. Los límites admisibles de hierro, plomo y zinc para agua destinada al consumo humano son de 300, 50 y 5000 ppb respectivamente.

REFERENCIAS

- R. ULLAH, S. MUHAMMAD, *Environ. Technol. Innov.* 2020, 19, 100931. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100931>.
- S. JADOON, S. MUHAMMAD, Z. HILAL, M. ALI, S. KHAN, N. U. KHATTAK, *Microchem. J.* 2020, 153, 104489. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.104489>.
- N. Vongdala, H.-D. Tran, T. D. Xuan, R. Teschke, T. D. Khanh, *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2019, 16 (1). DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph16010022>.
- V. ANTONIADIS, S. M. SHAHEEN, J. BOERSCH, T. FROHNE, G. D. LAING, J. RINKLEBE, *J. Environ. Manage.* 2017, 186, 192–200. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.04.036>.
- U. SADDIQUE, S. MUHAMMAD, M. TARIQ, H. ZHANG, M. ARIF, I. A. JADOON, N. U. KHATTAK, *Environ. Geochem. Health.* 2018, 1, 1–14.
- Reglamentación EIA Anexos de Ley 2658* 2006.
- Ley de Evaluación de Impacto Ambiental* 2003.
- MARCO ANTONIO GONZÁLEZ CANTELLANO, L. M. MONTAÑO ZETINA, *Lat.-Am. J. Phys. Educ.* 2015, 9 (4), 4602-1 4602-14.
- C. PERKINELMER, in *Anal. Methods At. Absorption Spectrosc.* 1996.
- “Metales pesados en el agua, efectos en la salud y eliminarlo,” <https://www.carbotecnica.info/aprendizaje/quimica-del-agua/los-metales-pesados-en-el-agua/> (Accessed on August 23, 2022), n.d.
- CÓDIGO ALIMENTARIO ARGENTINO - *Capítulo XII Bebidas Alcohólicas* n.d.
- S. E. Pabón Guerrero, R. Benítez Benítez, R. A. Sarria Villa, J. A. Gallo Corredor, *Entre Cienc. E Ing.* 2020, 14 (27), 9–18. DOI: <https://doi.org/10.31908/19098367.1734>.
- “Cinc (Zn) Propiedades químicas y efectos sobre la salud y el medio ambiente,” <https://www.lenntech.es/periodica/elementos/zn.htm> (Accessed on August 23, 2022), n.d.
- A. L. BLANCO HERNÁNDEZ, D. ALONSO GUTIÉRREZ, O. JIMÉNEZ DE BLAS, M. SANTIAGO GUERVÓS, B. DE MIGUEL MANZANO, *Rev. Esp. Salud Pública.* 1998, 72 (1), 53–65. <https://doi.org/10.1590/S1135-57271998000100007>
- I. PERKINELMER, in *AAAnalyst 200 Users Guide*, U.S.A. 2002.