

EVALUACIÓN DE LA EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DE CD EN SUELOS MEDIANTE EL MÉTODO DE DIGESTIÓN ASISTIDO CON MICROONDAS PARA SU DETERMINACIÓN POR ESPECTROMETRÍA DE ABSORCIÓN ATÓMICA

Lizeth L. Muñoz Villarreal¹; Heydy Rodriguez Castro; Jesús Alberto Mendoza; Valentina Orozco; Carlos Solar Cardozo; Jesús Sierra Dominguez.

Lizeth Muñoz Villarreal, Complejo Tecnológico Agroindustrial Pecuario y Turístico – SENA. Apartadó – Antioquia. Sistema de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación– Sennova. Grupo de Investigación ABIBE. Laboratorio Agroambiental – Servicios Tecnológicos. E-mail: lmunozv@sena.edu.co

Resumen

Actualmente el método más utilizado para la extracción de metales pesados en muestras de suelos es la digestión por agua regia, es así como en este trabajo se estudió la metodología digestión asistida con microondas para la determinación de Cd en muestras de suelos, dando como resultado un porcentaje de extracción superior al 70%. para la metodología con microondas se utilizó EDTA, observando que a mayor concentración de EDTA el porcentaje de extracción era mayor y mas homogéneo.

Pabras claves: Cadmio, Espectrometría de absorción atómica, extracción de metales asistida con microondas.

Abstract

Currently, the most widely used method for the extraction of heavy metals in soil samples is aqua regia digestion. In this work, the microwave-assisted digestion methodology was studied for the determination of Cd in soil samples, resulting in an extraction percentage greater than 70%. For the microwave methodology, EDTA was used, observing that the higher the EDTA concentration, the higher the extraction percentage and the more homogeneous.

Keywords: Cadmium, Atomic absorption spectrometry, Microwave-assisted metal extraction.

Introducción

Actualmente existen diversos métodos analíticos para la determinación de Cd en muestras de suelos, pese que la gran mayoría de los laboratorios de ensayos cuentan con equipos de absorción atómica, ya que estos son simples, rápidos, confiables y de bajo costo. A pesar de ello, este método adolece de problemas de falta de sensibilidad cuando se compara con otros métodos de análisis cuantitativos como Espectrometría de Masas con Plasma Acoplado Inductivamente (ICP-MS), espectrometría de emisión atómica (ICP-AES) y Espectrometría de Absorción Atómica con Vaporización Electrotérmica (GF-AAS) ampliamente aceptadas y costosas para los análisis de metales pesados en muestras de suelo, así, el método FAAS resulta ser más accesible y a la vez complejo, cuando se analizan muestras complejas, por lo cual es necesario un pretratamiento en éstas que permita extraer el elemento y así poder ser analizado.

En la literatura se encuentran disponibles varios métodos analíticos avanzados para la determinación de metales traza con suficiente sensibilidad.

El análisis de elementos en niveles de trazas es una tarea analítica difícil, principalmente debido a la complejidad de la matriz y la baja concentración de estos elementos, que requiere técnicas instrumentales sensibles y, a menudo, un paso de preconcentración. A este respecto, se han propuesto diversos métodos para la determinación de la cantidad de trazas de elementos, como la coprecipitación, la extracción líquido-líquido, la extracción del punto de enturbiamiento, extracción en fase sólida y microextracción líquido-líquido dispersivo, para la separación y preconcentración de Cd de diferentes matrices. Sin embargo, estos métodos a menudo requieren grandes cantidades de disolventes orgánicos, que en su mayoría son

dañinos y contaminan el medio ambiente debido a su alta presión de vapor (Santisteban Rojas, 2021).

Para realizar la determinación de Cd por Absorción Atómica de Llama, es necesario tener el analito en solución, y libre de posibles interferentes, tales como materia orgánica, o particulado. Para lograr estas condiciones, y con el objeto de reducir la interferencia por materia orgánica y liberar los metales de la matriz manteniéndolos en solución, es necesario el tratamiento previo de las muestras, y se debe realizar el procedimiento de preparación, digestión y preservación (Chavarrea Macas & Aguaisa Tamay, 2021).

Desarrollo

La espectroscopia de absorción atómica (AAS por sus siglas en inglés Atomic Absorption Spectroscopy), es un método extremadamente sensible, y específica debido a que las líneas de absorción atómica son considerablemente estrechas (de 0,002 a 0,005 nm) y las energías de transición electrónica son únicas para cada elemento (Araujo-Abad et al., 2020).

- Extracción de elementos traza solubles en agua regia

Este método de extracción está validado por la Norma Técnica Colombiana y es el más utilizado en los laboratorios de ensayos químicos. Este método aplica a muestras de suelo que contengan menos de un 20% m/m de Carbono Orgánico, según lo establecido en la ISO 11464 (Pretratamiento de las muestras de suelo para análisis fisicoquímicos) e ISO 10694 (Determinación del carbono orgánico y total después de la combustión seca), los materiales que contienen mayor porcentaje requieren concentración de ácido nítrico adicional. Esta técnica se basa en una digestión ácida de la muestra, para lo cual se requiere ácido clorhídrico (HCl) 2 M, ácido nítrico

(HNO₃) 15,8 M y ácido nítrico (HNO₃) 0,5 M. El agua regia que se utiliza para la extracción en este método no disuelve totalmente la mayoría de los componentes del suelo y materiales similares. La eficiencia de la extracción para elementos particulares difiere de un elemento a otro y también puede ser diferente para el mismo elemento en diferentes matrices (Salazar Oliva, 2019)

Metodología

- Pretratamiento de muestra

Se tomaron las muestras de suelo y se secaron en un horno a 40°C, luego se sometieron a trituración y se pasaron por un tamiz de 2 mm de apertura como lo indica el método (NTC – ISO 11464, 2022).

- Extracción por microondas

Se utilizó un horno microondas doméstico, modelo K-MW07N, voltaje 120 V, frecuencia nominal 60 Hz, potencia de entrada 1050 W, potencia de salida 700 W, frecuencia del microondas 2450 MHz.

Las muestras de suelos se pretrataron y se enriquecieron tomando 1 mL de estándar 0.6 mg/L Cd (siguiendo el método de enriquecimiento expuesto en el numeral 5.3.1), luego se tamizaron a un tamiz de 2 mm, posteriormente se pesaron (1,00 g) y se agregó 25 ml de EDTA a concentración 0.1, 0.25 y 0.3 M por último se llevaron a 50 mL.

Las pruebas de extracción se realizaron en vaso de precipitados, usando un agitador de extremo a extremo a una velocidad de 100, 180 y 250 rpm a temperatura ambiente (25 ° C) durante 30 minutos, 1 y 2 h (siguiendo diseño completamente al azar) Las suspensiones se filtraron.

Todas las pruebas se realizaron por triplicado y los resultados se presentaron como

promedios de los extractos por triplicado. Como procedimiento experimental típico, la mezcla de 1,00 g de muestra y el volumen de Na₂ EDTA se trató mediante irradiación con microondas en un horno microondas durante un tiempo preestablecido 5 minutos (Kouzbou et al., 2019).

Resultados

Extracción por microondas para muestras de suelo

Las muestras de suelos se pretrataron y se enriquecieron a 0.6 mg/L Cd, luego se tamizaron a un tamiz de 2 mm, posteriormente se pesaron y se agregó 25 ml de EDTA a concentración 0.1, 0.25 y 0.3 M por último se llevaron a 50 mL. Estas se sometieron a agitación, de igual forma se realizó un procedimiento previo a las muestras sin agregar estándar con el fin de establecer si éstas estaban libres de Cd como se observa en la tabla 1.

Tabla 1. Extracción de Cd en muestras de suelos sin enriquecimiento por método asistido por microondas.

CONCENTRACIÓN EDTA	Agitación en RPM	TIEMPO AGITACIÓN	TIEMPO EN HORNO	CONCENTRACIÓN LEÍDA EN ESPECTROFOTÓMETRO (mg/L)
0,10 M	100	1.0 H	5,0 Min	0.0008
	180	1.0 H		0.0007
	250	1.0 H		0.0007
0,25 M	100	1.0 H		0.001
	180	1.0 H		0.0012
	250	1.0 H		0.0011
0,30 M	100	1.0 H		0.0014
	180	1.0 H		0.0013
	250	1.0 H		0.007

Análisis de extracción de Cd en muestras de suelos enriquecidas a 0,6 mg/L mediante extracción asistida por microondas.

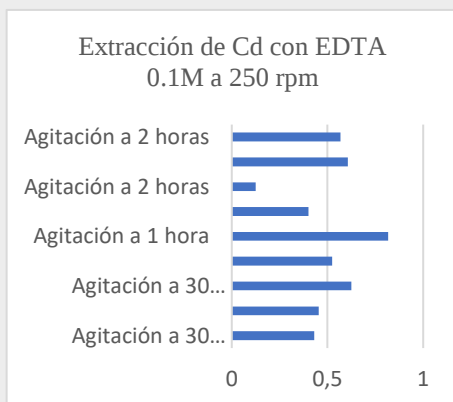
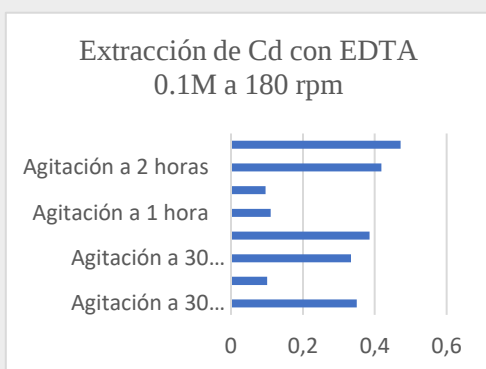
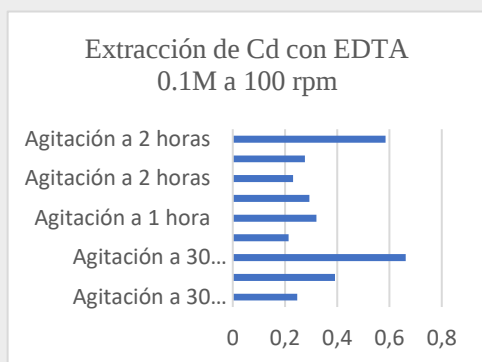


Figura 1. Extracción de Cd con EDTA 0.1 M

En la figura 1 se observa a simple vista que los valores presentan disparidad entre sí bajo las tres condiciones metodológicas ya que no se acercan al valor de referencia que en este caso es 0.6. No obstante, la figura 6 al igual que la

figura 5 presenta el mismo comportamiento, sin embargo, los valores se armonizan más entre sí.

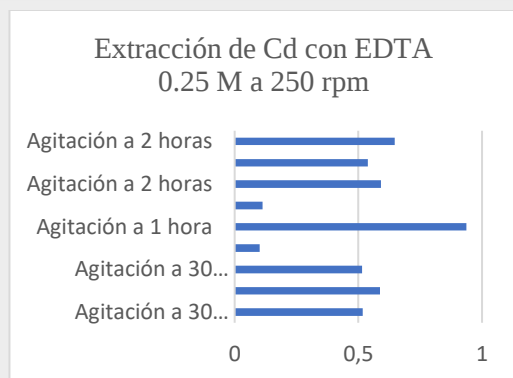
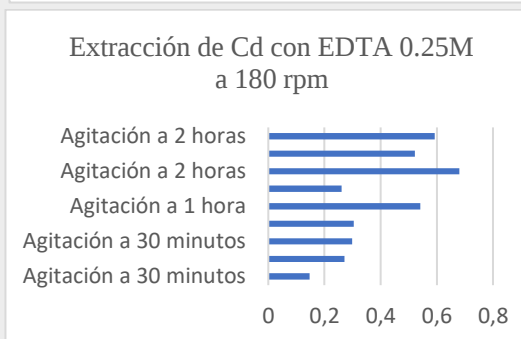
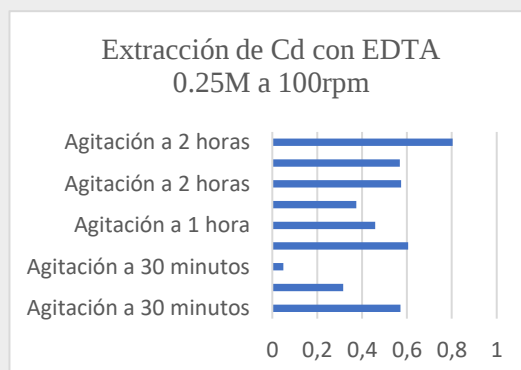


Figura 2. Extracción de Cd con EDTA 0.25 M

Así, en la figura 2 se observa que para la tercera condición experimental (mayor concentración de EDTA y mayor agitación) los valores se acercan más al valor de referencia, es así como en la figura 3 se observa que a diferencia de las figuras 1 y 2 los valores son más simétricos entre sí.

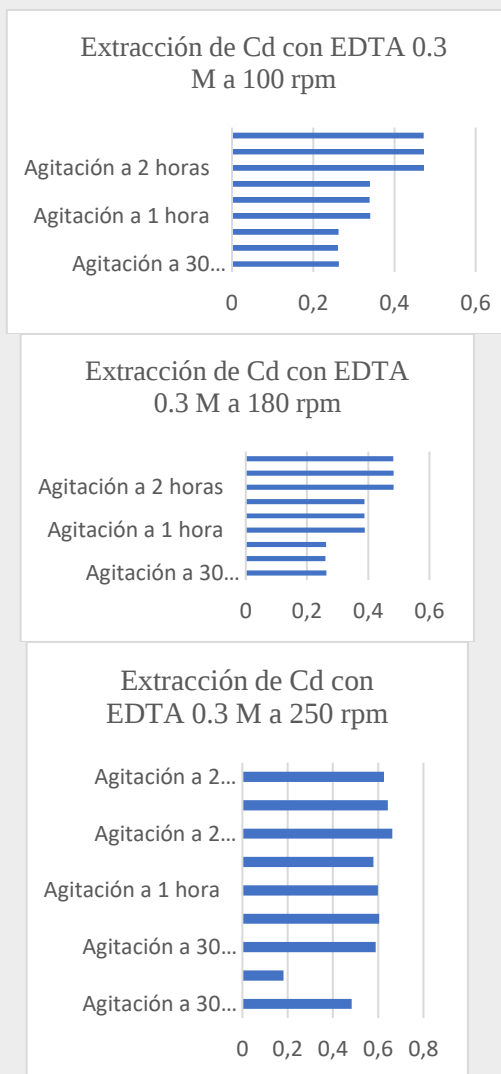


Figura 3. Extracción de Cd con EDTA 0.3 M

Así mismo, se observa que los valores se acercan más al valor de referencia cuando la concentración de EDTA es 0.3 M y la velocidad de agitación es 250 RPM.

Es así, como teniendo en cuenta los resultados expuestos en las figuras 1, 2 y 3 se procede a realizar un análisis de varianza con la finalidad de establecer la variabilidad numérica para cada tratamiento mediante un análisis estadístico utilizando el modelo Diseño Completamente al azar con arreglo factorial 3*3*3 bajo las condiciones de agitación rpm (100, 180, 250), tiempo de agitación (30 min,

1 hora, 2 horas) y concentración de EDTA (0.1, 0.25 y 0.3 M). Se realiza la siguiente tabla ANOVA.

Tabla 2. Análisis ANOVA para método microondas.

F.V	Gl	P-valor	Decisión
Agitación Rpm	2	0.00138	***
Tiempo	2	0.00112	**
EDTA	2	0.2526	
Agitación/Tiempo de agitación	4	0.44008	
Velocidad de agitación/Concentración de EDTA	4	0.5594	
Tiempo de agitación/Concentración de EDTA	4	0.16647	
Velocidad de agitación/Tiempo de agitación/Concentración de EDTA	8	0.45099	
Residual	54		

Donde:
F.V: factor de variación
Gl: grados de libertad
SC: suma de cuadrados
CM: media cuadrática
Fc: f calculado

Nivel significancia	Símbolo
0	***
0.001	**
0.01	*
0.05	.
1	

Nota: la tabla de decisión muestra el grado de significancia que tiene cada variable en el modelo, se escribe “***” para un nivel de confianza mayor al 99.99%, “**” para un nivel de confianza de 99.99%, “*” para un nivel de confianza de 99%, “.” para un nivel de confianza de 95% y no se pone nada para un nivel de confianza menor al 90%.

Discusión

- Influencia de la concentración de EDTA en la extracción del metal

El efecto de la concentración del EDTA sobre la tasa de extracción de cadmio se probó utilizando un rango de concentración de 0.1 M, 0.25 M y 0.3 M, observándose que la extracción de cadmio aumentó con el aumento de la concentración de EDTA como se observa en las figuras 1, 2 y 3 donde se evidencia que a medida que aumenta la concentración del extractante los valores son más uniformes entre sí, de igual forma, se observa que los porcentajes de recuperación mejoran y se hacen más estables cuando el EDTA está a 0.3 M.

Sin embargo, teniendo en cuenta el análisis ANOVA se observa que no hay diferencia significativa entre la concentración del EDTA y la extracción del Cd (tabla 1), lo que quiere decir que no hay diferencia entre las medias de los datos, comportándose de manera similar en las tres concentraciones.

Caso similar se observó en la investigación realizada por Benredjem y colaboradores, citado por (Kouzbour et al., 2019) donde evidenciaron el efecto de la concentración de EDTA sobre la tasa de extracción de cadmio, para lo cual utilizaron un rango de concentración de 0,01 a 0,25 M, notándose que la extracción de cadmio aumentó con el aumento de la concentración de EDTA.

Así mismo, una investigación realizada por Isern y colaboradores en donde se analizó al EDTA como extractante de distintos metales (incluyendo el Cd) se observó que éste extrajo el cadmio en un 78%, llegando incluso al 86% (Isern Roselló & Martínez Planas, 2011). De igual forma Dariush Naghipour y

colaboradores realizaron una investigación donde se establecía la capacidad y eficiencia de extracción del EDTA a concentraciones de 0.1, 0.01 y 0.005 M evidenciándose que la eficiencia de extracción de Pb, Cd y Zn con EDTA 0.01 M fue respectivamente 79.7%, 73.78% y 66.3%; mientras que las cantidades correspondientes para estos contaminantes utilizando EDTA 0.005 M fueron 70.2%, 47.98% y 61.11%, respectivamente, notándose que la eficiencia de extracción de metales del suelo contaminado aumenta cuando aumenta la concentración de EDTA (Naghipour et al., 2016).

- Influencia del tiempo de extracción

Como se observa en la tabla 1, la variable tiempo presenta significancia con respecto a la variable respuesta que en este caso es la concentración del metal extraído, indicando que al menos una de las medias de los tratamientos difiere de las otras. Es así, desde el punto de vista estadístico se realizó una comparación de medias para el tiempo de agitación (Tabla 2), para determinar el coeficiente de variación de esta variable.

Tabla 2. Comparación de medias para tiempo de agitación

Tiempo	Media	Sd	N	Grupo	CV%
Agitación a 30 m	0.401	0.205	27	A	51.12%
Agitación a 1 h	0.522	0.142	27	B	27.20%
Agitación a 2 h	0.359	0.166	27	A	46.24%

Teniendo en cuenta la tabla anterior se observa que el mejor tiempo de agitación es a una hora, porque su variación es la más baja, teniendo en cuenta la media mayor con pocas variaciones, sin embargo, la mayor taza extractiva en los tratamientos se reflejó en 2 horas de agitación.

Lo anterior tiene relación con la investigación realizada por Benredjem e investigadores, citado por (Kouzbou et al., 2019) donde se estableció que la mayor tasa de extracción (96%) fue a las dos horas, después de este tiempo, la extracción fue constante, por lo que para ese trabajo se estableció el tiempo de 2 horas para la extracción.

Un caso similar se observa en una investigación realizada por Kim y colaboradores donde se utilizó el EDTA con distintos agentes reductores para la determinación de As y otros metales, determinando así el efecto del tiempo de extracción entre el EDTA y muestras de suelos, donde éste extrajo aproximadamente el 20 % del As del suelo en 1 h y continuó extrayendo As durante las siguientes 9 h. El EDTA combinado con 0.01 M de ditionita extrajo aproximadamente el 40 % del As del suelo en 5 min y alcanzó aproximadamente el 60 % de extracción en 2 h. Casi el 100 % del As se extrajo del suelo, el EDTA combinado con 0.1 M de ditionita extrajo aproximadamente el 20 % del As en otra muestra de suelo en 5 min y extrajo gradualmente casi el 90 % del As en 6 h (Kim et al., 2016).

- Influencia de la velocidad de agitación en la extracción del metal

Teniendo en cuenta lo indicado en la tabla 1. Para este caso se observa que la variable agitación en rpm es significativa, indicando que al menos una de las medias de los tratamientos difiere de las otras, así que se procede a realizar comparaciones de medias (tabla 3).

Tabla 3. Comparación de medias para velocidad de agitación.

Velocidad de agitación	Media	Sd	N	Grupo	CV%
100 RPM	0.399	0.168	27	A	42.11%
180 RPM	0.362	0.152	27	A	41.99%
250 RPM	0.521	0.198	27	B	38.00%

Teniendo en cuenta la tabla anterior se evidencia que entre las condiciones de agitación al 100 rpm y 180 rpm no hay diferencias significativas, sin embargo, estas difieren con la condición de agitación al 250 rpm. Siendo así, se considera la mejor condición de agitación es al 250 rpm, porque su variación es la más baja.

Teniendo en cuenta lo anterior, el método asistido por microondas para la extracción de cadmio en muestras de suelos arroja mejores resultados en agitación por una hora a 250 rpm ya que a estas condiciones se presentaron menores coeficientes de variación y buenos porcentajes de recuperación. A su vez, la concentración apropiada de EDTA sería a 0.1 M ya que si bien desde el punto estadístico no hay diferencias significativas entre las tres concentraciones y desde el análisis el procedimiento con EDTA 0.3 M arrojaba valores más uniformes, lo cierto es que la solución de EDTA a 0.3 M requiere mayor consumo de reactivo, a su vez, el análisis debe hacerse en el menor tiempo posible debido a que el EDTA se empieza a decantar, lo contrario sucede con la solución de EDTA a 0.1M, debido a que a esta concentración se requiere menor consumo de reactivo y la solución permanece mayor tiempo sin que el EDTA se decante.

Conclusión

El método de digestión asistido por microondas presentó significancia para las variables tiempo de agitación (P – valor 0.00112) y velocidad de agitación (P – valor

0.00138) por lo que realizando un análisis de medias se establece que las condiciones con menor coeficiente de variación son agitación a 250 RPM a 1 hora. De igual forma para el método de microondas se establece mediante análisis de varianza que la concentración de EDTA no es significativa (P-valor 0.2526) por lo cual el análisis tiene un comportamiento similar bajo las tres concentraciones de EDTA.

8. Bibliografía

Acharte Lume, L. M. (2020). Presencia de cadmio y plomo en agua, suelo y su acumulación en pastos naturales de las bocaminas san antonio y tangana de la comunidad de Huachocolpa Huancavelica-2018.

Almeida Zambrano, J. A., & Macías Moreira, D. A. (2020). Metodología NIR en la determinación rápida de ácidos grasos en aceites crudos. Área de control de calidad La Fabril SA.

Araujo-Abad, S., Tapia, W., & Villamarín-Ortiz, A. (2020). Verificación del método analítico de espectroscopía de absorción atómica con horno de grafito para la cuantificación de cadmio en almendra de cacao (*Theobroma cacao*).

Behbahani, E. S., Dashtian, K., & Ghaedi, M. (2021). Fe₃O₄-FeMoS₄: Promise magnetite LDH-based adsorbent for simultaneous removal of Pb (II), Cd (II), and Cu (II) heavy metal ions. *Journal of hazardous materials*, 410, 124560.

Benredjem, Z., Delimi, R., & Khelalfa, A. (2016). Cadmium extraction from phosphate ore. Effect of microwave. *Arabian Journal of Chemistry*, 9, S446-S450. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2011.05.016>

César, E., & Zamora, D. (2019). Uso de enmiendas en la reducción del contenido de

cadmio en el suelo y en los granos del cacao (*Theobroma cacao* L.) clon ccn-51.

Chavarrea Macas, B. M., & Aguaisa Tamay, J. M. (2021). Evaluación de la capacidad fitorremediadora de dos especies vegetales *Raphanus sativus* y *Brassica rapa* en suelos contaminados con cadmio en laboratorio.

Cuyubamba Meza, J. D. (2021). Evaluación de la influencia del cadmio y plomo disponible en el suelo sobre la densidad del bioindicador (*eisenia foetida*) en los cultivos de cacao (*teobroma cacao*), Huamalies, Huánuco-2020.

Dendievel, A.-M., Grosbois, C., Ayrault, S., Evrard, O., Coynel, A., Debret, M., Gardes, T., Euzen, C., Schmitt, L., & Chabaux, F. (2022). Key factors influencing metal concentrations in sediments along Western European Rivers: A long-term monitoring study (1945–2020). *Science of the Total Environment*, 805, 149778.

ELICEO, E. O. J. (2022). EVALUACIÓN DE CONCENTRACIÓN DE CADMIO EN EL SUELO DE CULTIVOS DE CAÑA DE AZÚCAR DEL INGENIO COAZÚCAR, LA TRONCAL-ECUADOR.

García-Sánchez, B. E., Vara-Castro, G. M., Kretzschmar, T., & Sánchez-Avila, J. I. (2022). Organic compounds in surface and groundwaters in the surrounding of a Mexican geothermal reservoir; case study Los Humeros, Puebla. *Applied Geochemistry*, 147, 105442.

Guzman Pinto, I. A. (2019). Métodos analíticos aplicados en la espectroscopía de absorción atómica.

Harvey, D. T. (2009). *Spectrochemical Analysis by Atomic Absorption and Emission*, (by LHJ Lajunen and P. Perämäki).

Hernández, M. V. F., Gamboa, O. A. S., & De Astudillo, L. L. R. (2019). Evaluación del riesgo ambiental de metales pesados en los sedimentos superficiales del saco del Golfo de

Cariaco. Revista Internacional de Contaminación Ambiental, 35(1), 101-114.

Isern Roselló, R., & Martínez Planas, M. del M. (2011). Estudio experimental de la movilidad de metales pesados en sedimentos de la cuenca del Jequetepeque, Perú.

Karimova, U. A. (2020). EFFECT OF ULTRASOUND ON CATALYTIC ACTIVITY OF CHROMIUM SALT OF PETROLEUM ACIDS IN THE PROCESS OF AEROBIC OXIDATION OF N-UNDECANE. Journal Processes of Petrochemistry and Oil Refining, 21(3), 372-377.

Khan, W. A., Arain, M. B., & Soyak, M. (2020). Nanomaterials-based solid phase extraction and solid phase microextraction for heavy metals food toxicity. Food and Chemical Toxicology, 145, 111704.

Kim, E. J., Jeon, E.-K., & Baek, K. (2016). Role of reducing agent in extraction of arsenic and heavy metals from soils by use of EDTA. Chemosphere, 152, 274-283. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.03.005>

Kou, Y., Zhao, Q., Cheng, Y., Wu, Y., Dou, W., & Ren, X. (2020). Removal of heavy metals in sludge via joint EDTA-acid treatment: Effects on seed germination. Science of the Total Environment, 707, 135866.

Kouzbou, S., Gourich, B., Gros, F., Vial, C., Allam, F., & Stiriba, Y. (2019). Comparative analysis of industrial processes for cadmium removal from phosphoric acid: A review. Hydrometallurgy, 188, 222-247. <https://doi.org/10.1016/j.hydromet.2019.06.014>

Liu, Y., Chu, Y., Hu, Z., Zhang, S., Ma, S., Khan, M. S., Chen, F., Zhang, D., Guo, L., & Lau, C. (2020). High-sensitivity determination of trace lead and cadmium in cosmetics using laser-induced breakdown spectroscopy with

ultrasound-assisted extraction. Microchemical Journal, 158, 105322. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2020.105322>

Mahmoud, M. E., Amira, M. F., Zaghoul, A. A., & Ibrahim, G. A. A. (2016). High performance microwave-enforced solid phase extraction of heavy metals from aqueous solutions using magnetic iron oxide nanoparticles-protected-nanosilica. Separation and Purification Technology, 163, 169-172. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2016.02.039>

Martínez Guijarro, M. (2020). Análisis Instrumental. Espectrometría de Absorción Atómica (EAA).

Meneses Escobar, J. P. (2019a). Desarrollo de un método de digestión para extracción de cromo de virutas de las curtiembres aplicando ultrasonido.

Meneses Escobar, J. P. (2019b). Desarrollo de un método de digestión para extracción de cromo de virutas de las curtiembres aplicando ultrasonido.

Morales, E. L. A., Llanos, X. M. G., & Angulo, D. E. R. (2021). Análisis de los efectos que produce la presencia del cadmio en el cultivo de cacao (Theobroma cacao). Ingeniería e Innovación, 9(2).

Muñoz Sandoval, M. J. (2022). Nuevos sistemas de microextracción dispersiva combinados con espectrometría de absorción atómica para la especiación de trazas de metales. Proyecto de investigación.

Naghipour, D., Gharibi, H., Taghavi, K., & Jaafari, J. (2016). Influence of EDTA and NTA on heavy metal extraction from sandy-loam contaminated soils. Journal of Environmental Chemical Engineering, 4(3), 3512-3518. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.07.034>

Naicker, K., Mahlambi, P., & Mahlambi, M. (2023). Comparison of ultrasonic and microwave assisted digestion methods for the

determination of heavy metals in soil and sediment: The effect of seasonal variations on metal concentrations and risk assessment. *Soil and Sediment Contamination: An International Journal*, 32(3), 320-336. <https://doi.org/10.1080/15320383.2022.2084032>

Perelonia, K. B. S., Benitez, K. C. D., Banicod, R. J. S., Tadifa, G. C., Cambia, F. D., & Montojo, U. M. (2021). Validation of an analytical method for the determination of cadmium, lead and mercury in fish and fishery resources by graphite furnace and Cold Vapor Atomic Absorption Spectrometry. *Food Control*, 130, 108363.

Rojas, T., Fuentes Campos, M. E., Contreras-López, E., Gómez, S., & Muñoz-Jáuregui, A. M. (2019). Extracción asistida por ultrasonido de compuestos fenólicos de la cáscara de *sanky* (*Corryocactus brevistylus*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(2), 258-267.

Salazar Oliva, J. P. (2019). Aplicación de la extracción con agua regia para analizar elementos traza en suelos contaminados.

Sánchez Sarango, M. B. (2022). Cuantificación electroquímica simultánea de pb (ii), cd (ii) y zn (ii) en sedimentos marinos superficiales utilizando microelectrodo de carbono.

Santisteban Rojas, O. P. (2021). Comparación de los niveles de arsénico, cadmio, mercurio y plomo en piensos y huevos de codorniz (*Coturnix coturnix japonica*), producidos en empresas formales e informales y comercializados en mercados, supermercados y ambulatoriamente en la región Lima, mediante espectrofotometría de absorción atómica y espectrometría de plasma acoplado inductivamente.

Shokunbi, O. S., Adepoju, O. T., Ramaite, I. D. I., Shokunbi, O. S., Mojapelo, P. E. L., & Akinyele, I. O. (2023). Potassium, sodium, calcium and magnesium levels of commonly consumed foods and estimates of dietary

intakes of selected Nigerian adults. *Heliyon*, 9(3), e13729. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e13729>

Vettorel, S., Tabares, I., & Oliva, A. (2019). 7405-19 FÍSICA Electrostática.

Xie, L., & Kirk, D. W. (2020). Stability comparison of Pt and Ni as base metal catalysts in anion exchange membrane fuel cells. *Journal of The Electrochemical Society*, 167(6), 064519.