

## Determinación simultánea de metales traza en muestras de suelo mediante espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES)



### Simultaneous determination of trace metals in soil samples by inductive coupling plasma atomic emission spectrometry (ICP-OES)

Barzallo, Diego; Vera, Humberto; Gavin, César; Lazo, Rafael

**Diego Barzallo**

diegobarzallo0@gmail.com

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

**Humberto Vera**

humbertorichi@hotmail.com

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

**César Gavin**

cgavinm@unemi.edu.ec

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

**Rafael Lazo**

rlazos@unemi.edu.ec

Universidad Estatal de Milagro, Ecuador

#### Ecuadorian Science Journal

GDEON, Ecuador

ISSN-e: 2602-8077

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. Esp.4, 2021

esj@gdeon.org

Recepción: 31 Agosto 2021

Aprobación: 04 Octubre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/606/6062739012/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.176>

Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra sus sitios web personales o en depósitos institucionales, después de su publicación en esta revista, siempre y cuando proporcionen información bibliográfica que acredite su publicación en esta revista. Licencia de Creative Commons Las obras están bajo una <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Barzallo, D., Vera, H., Gavin, C., & Lazo, R. (2021). Determinación simultánea de metales traza en muestras de suelo

**Resumen:** La espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES) es una técnica analítica muy sensible para la identificación y cuantificación de diferentes elementos de la tabla periódica. En este contexto, el presente trabajo tiene como objetivo cuantificar varios metales: Zn, Mn, Pb y Co en tres tipos de muestras de suelo mediante esta técnica analítica. Las curvas de calibración obtenidas para cada metal presentan una gran linealidad con valores del coeficiente de determinación ( $r^2$ ) por encima del 0,997. La validación del método analítico se realizó mediante el uso de materiales de referencia de cada metal obteniéndose porcentajes recuperación muy cercanos al 100%, lo cual indica que es muy óptima y sensible para la cuantificación simultánea de diferentes metales en muestras de suelo de concentración desconocida a niveles traza y ultra traza, reduciendo además tiempos de análisis, menor intervención del analista y consumo de muestra frente a otras técnicas espectrométricas menos sensibles tales como espectrofotometría UV-VIS. Las concentraciones obtenidas de cada metal en las muestras de suelo analizadas se encuentran por debajo de los niveles genérico de referencia (NGR), lo cual muestra que son aptos para ser cultivados, ya que presentan diferentes tipos de micronutrientes que aportan grandes ventajas al crecimiento de las plantas. Por último, se realizó un tratamiento estadístico ANOVA de un factor para comprobar si existen diferencias significativas entre las tres muestras de suelo analizadas; los resultados obtenidos indican que son estadísticamente diferentes ( $p < 0,05$ ).

**Palabras clave:** Análisis, Espectrometría, Metales, Suelo.

**Abstract:** Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry (ICP-OES) is a highly sensitive analytical technique for the identification and quantification of different elements of the periodic table. In this context, the present work aims to quantify several metals: Zn, Mn, Pb and Co in three types of soil samples using this analytical technique. The calibration curves obtained for each metal show great linearity with values of the coefficient of determination ( $r^2$ ) above 0,997. The validation of the analytical method was carried out by using certified reference materials for each metal,

mediante espectrometría de emisión atómica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES). Ecuadorian Science Journal, 5(4), 130-139. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.4.176>

obtaining recovery percentages very close to 100%, which is very optimal and sensible for the simultaneous quantification of different metals in soil samples of unknown concentration at levels, trace and ultra-trace, also reducing analysis times, less analyst intervention and sample consumption compared to other less sensitive spectrometric techniques such as UV-VIS spectrophotometry. The concentrations obtained of each metal in the analyzed soil samples are below the generic reference levels (NGR), which shows that these soils are suitable for cultivation, since they present different types of micronutrients that provide great advantages to the plant growth. Finally, a one-factor ANOVA statistical treatment was performed to check if there are significant differences between the three soil samples analyzed; the results obtained indicate that they are statistically different ( $p < 0,05$ ).

**Keywords:** Analysis, Spectrometry, Metals, Soil.

## INTRODUCCIÓN

Generalmente los oligoelementos metálicos se encuentran en el suelo, sedimentos y rocas por debajo del 0,1%. Pese a que la mayoría son esenciales, todos presenta una cierta toxicidad que genera efectos negativos en el medio ambiente y en el ser humano (Othman et al., 2021). En función a los límites permisibles que se encuentran establecidos en normas estándares internacionales para cada tipo de matriz (agua, aire, suelo, sedimentos, etc) se establece su toxicidad y en la actualidad las contaminaciones de metales pesados en el suelo atraen gradualmente mayor atención debido a las potenciales amenazas que genera a la seguridad alimentaria. Los metales pesados en el suelo pueden ser absorbidos por los cultivos a través de sus raíces y causar efectos negativos en los seres humanos que consuman estos productos, Por tanto, es de gran importancia detectar metales pesados en el suelo (Yi et al., 2018).

Además, dentro del campo alimentario el monitoreo constante del suelo mediante análisis de rutina es indispensable para el control frecuente de los alimentos que son cultivados en dicho suelo y para mantener la fertilidad de éste en condiciones adecuadas. Gracias a esto se obtiene información importante para los agricultores, de modo que ellos puedan desarrollar su actividad con una productividad óptima y de un modo más sostenible, puesto que la cantidad y disponibilidad de micronutrientes en un suelo proporciona una mayor productividad para un cultivo determinado (Yi et al., 2018).

Habitualmente un análisis de suelos se realiza para la detección de diferentes elementos como el K, Ca, Mg o Sr, entre otros. Sin embargo, micronutrientes como el Fe, Zn, Mn y Cu son medidos frecuentemente y cuando se encuentra a bajas concentraciones, se consideran como suelos secos, influyendo negativamente al cultivo. Como resultado de una creciente actividad industrial, en algunas áreas el suelo puede estar contaminado por metales pesados, tales como el Cr o el Hg. Dichos metales son tóxicos directamente para el cultivo, o pueden acumularse y ser ingeridos por el ser humano (Zhao, 2019).

En la actualidad existen diferentes herramientas analíticas que permiten determinar el contenido de un elemento químico dado en una matriz, que depende de la naturaleza y la concentración a la cual se encuentre. En este contexto, los métodos espectrométricos permiten la cuantificación de elementos a niveles traza o ultraza, ya que existen técnicas analíticas cada vez más sensibles (Oral et al., 2020). En la literatura, existen diferentes investigaciones del análisis de estos oligoelementos metálicos usando técnicas analíticas muy sensibles como la espectrometría de absorción atómica (AAS), espectrometría de masas de plasma acoplado inductivamente (ICP-MS) y la espectrometría de emisión óptica con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES), teniendo en cuenta que estas dos últimas técnicas analíticas permiten un análisis simultáneo de

diferentes elementos químicos dentro de una matriz en contraste de la primera (Mao et al., 2017). Por lo cual el objetivo del presente trabajo radica en la determinación analítica de diferentes metales tanto mayoritarios como a niveles traza mediante un análisis simultáneo utilizando ICP-OES para conocer el estado del suelo, brindando así una alternativa de análisis para el monitoreo constante usando esta técnica analítica muy sensible.

La técnica ICP-OES es una técnica de análisis que permite el análisis simultáneo de diferentes metales de una forma muy rápida y económica, dos factores de gran importancia cuando se quiere analizar un elevado número de muestras. Debido a la importancia del análisis de metales en suelos, existen varios métodos para tal efecto, como son la norma EPA 200.7/2005 en los Estados Unidos de América, la DIN 38406E22 en Alemania, o la ISO11885 a nivel internacional (Addis & Abebaw, 2018).

Así mismo, para el análisis de metales en muestras sólidas, se requiere un pretratamiento de digestión de la muestra, con la finalidad de obtener el extracto del suelo (metales presentes en el sólido y poder así ser analizados en fase acuosa) (Nyika et al., 2019). La digestión de suelos se basa en la disolución de una fracción o de la totalidad del suelo en medio ácido y para que sea eficaz es indispensable calentar durante un tiempo establecido en un termobloque. Sin embargo, en este trabajo se reemplazó el uso del termobloque clásico, por un horno de microondas, que abarca recipientes de teflón de alta presión que combinado con la acción del microondas, brinda un proceso de digestión más rápida y eficiente de la muestra (Radomirović et al., 2020).

## METODOLOGÍA

### Materiales y Reactivos

Todos los reactivos usados fueron de grado analítico: HNO<sub>3</sub> 65% (CAS: 7697-37-2, Merck), HCl 37% (CAS: 7647-01-0, Sigma Aldrich). El agua para realizar las disoluciones y enjuagar el material fue de calidad Milli-Q (obtenida de un equipo Milliopore Direct 8) y los patrones de la curva de calibración se prepararon a partir de patrones comerciales (Scharlau) de 1000 mg·L<sup>-1</sup> de cada metal a analizar, adecuado para técnicas de espectroscopia de absorción y emisión atómica.

Todo el material de vidrio que ha sido utilizado en la presente investigación ha sido lavado y enjuagado con agua destilada, y seguidamente se dejó inmerso en un baño de HNO<sub>3</sub> al 10 % V/V durante 12 h, para después ser enjuagado repetidas veces con agua Milli-Q, a modo de eliminar el HNO<sub>3</sub>.

Además, para la validación del método analítico propuesto se realizó mediante el uso de materiales de referencia (Scharlau) de Zn (519±11 mg·kg<sup>-1</sup>), Mn (572±39,1 mg·kg<sup>-1</sup>), Pb (108±2,35 mg·kg<sup>-1</sup>) y Co (67,9±2,21 mg·kg<sup>-1</sup>).

Para el análisis de los diferentes metales en los extractos de suelo se utilizó un ICP-OES PERKIN ELMER Optima 5300 DV. El sistema óptico consta de un generador de radiofrecuencia de estado sólido de 40 MHz acoplado a un detector simultáneo Segmented-array Charge-coupled Device (SCD). Sistema de lectura axial y radial. Inyector automático AS-93plus. Nebulizadores Cross-flow- GemCone high solids. Regulador de temperatura de la cámara de nebulización. Sistema de introducción de muestra ESI OneFast.

### Preparación de serie de soluciones de calibrado

A partir de las disoluciones patrón de 1000 mg·L<sup>-1</sup> de Zn, Mn, Pb y Co se preparó una única disolución de trabajo de 10 mg·L<sup>-1</sup>. Todas las diluciones se realizaron utilizando 2% HNO<sub>3</sub>. Los patrones usados para construir la curva de calibración fueron de: 5, 10, 20, 50, 75, 100, 200 y 500 µg·L<sup>-1</sup>, en matraces de 50 mL.

A cada matraz se agregó 1,5 mL de HCl y 4,5 mL de HNO<sub>3</sub> con el fin de conservar las mismas condiciones que tienen las muestras a analizar y finalmente se aforó con agua Milli-Q.

## Pretratamiento de las muestras de suelo

Se usaron tres tipos de muestras de suelo en la presente investigación que proceden de la ciudad de Mallorca, España, las cuales han sido muestreadas en tres puntos diferentes para verificar el estado del suelo a través de la concentración existente en los diferentes metales: Zn, Mn, Pb y Co.

Las muestras de suelo muestreadas fueron previamente secadas usando una estufa a  $80\pm 5^{\circ}\text{C}$  hasta obtener un peso constante, y luego tamizadas (fracción  $<250\mu\text{m}$ ). Posteriormente se realizó la digestión ácida a las muestras de suelo sólidas secas por medio de un microondas (Microwave GO) para la obtención del extracto líquido para su posterior pretratamiento y determinación analítica mediante ICP-OES.

En la Figura 1. se muestra la metodología a seguir para el tratamiento de cada muestra digerida, por lo tanto, se pesó 0.5 g de los tres tipos de suelo que han sido colocadas en vasos de teflón con una mezcla de agua regia invertida (9 mL de  $\text{HNO}_3$  y 3 mL de  $\text{HCl}$ ) teniendo en cuenta el método USEPA 3051 A. Posteriormente se realizó el tratamiento térmico con el microondas y por último se filtró las muestras a través de un filtro de nylon de  $0,45\mu\text{m}$ . Por otra parte, se preparó una dilución 1:20 de cada muestra, para poder cuantificar cada metal (Mn, Co, Zn y Pb) en caso de que la concentración de algún metal se encuentre fuera del rango de la línea de calibrado se deberá diluir a una proporción mayor.



FIGURA 1.

Diagrama de flujo del tratamiento de la muestra digerida

## Análisis de las muestras traza de metales

Para analizar las trazas de los metales de Zn, Mn, Pb y Co, se utilizó el espectrómetro de emisión por plasma de acoplamiento inductivo. Se ha configurado al equipo a que realice tres réplicas instrumentales de cada muestra para calcular la media, valor con el cual se trabajará finalmente. El equipo debe ser puesto en marcha un tiempo antes de iniciar con el análisis de muestra para que logre llegar a condiciones óptimas de operación. El orden de análisis de las muestras en el equipo es: blanco 1, los 8 patrones propuestos, el blanco 2, el material de referencia, el material de referencia concentrado, el material de referencia diluido, las tres muestras de suelo (A, B y C) concentradas, las muestras de suelo (A, B y C) diluidas y por último nuevamente el patrón 4 ( $50\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ). Se ha utilizado un blanco 2 para asegurar que tanto el sensor como el equipo estén limpios

de residuos, minimizando la posibilidad de obtener resultados erróneos una vez finaliza el proceso de la calibración. Además, se analizó las tres muestras de suelo concentradas y diluidas para asegurar que los valores de intensidad obtenidos por el equipo se encuentren dentro del rango lineal de la curva de calibración y evitar así posteriores errores en los cálculos cuantitativos.

Así mismo, un punto que se desvíe de la recta puede ser omitido, mientras más precisión se requiera se deberán realizar más réplicas. Se sugiere primero pasar la recta de calibrado y luego las muestras para asegurarse de que la recta propuesta se encuentre linealizada. Una vez obtenido los valores de intensidad de los tres tipos de muestras de suelo desconocidos (A, B y C) se calculó la concentración de cada metal expresada en mg Kg<sup>-1</sup> de suelo, mediante la curva de calibración obtenida para cada metal ( $y = ax + b$ ) a partir del instrumento ICP-OES, usando la siguiente ecuación:

$$c \left( \frac{mg}{kg} \right) = \frac{\left( \frac{Int - b}{a} \right) \times d}{p} \quad (1) \quad [1]$$

Donde: Int es la lectura en unidades de intensidad, b es la ordenada al origen, a es la pendiente de la recta de regresión, d es el volumen final de dilución, en L y p es el peso de muestra seca, en gramos.

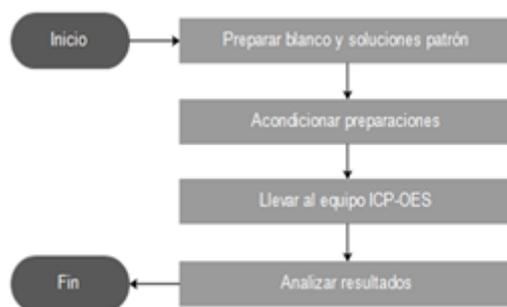


FIGURA 2.  
Diagrama de flujo del análisis de las muestras de suelo

En un análisis ICP-OES, la gran sensibilidad del equipo permite tener picos no solapados para un mismo metal a longitudes de onda cercanas entre sí y por lo tanto se puede escoger la longitud de onda de medición para cada metal, de tal manera que no exista ninguna interferencia en el análisis, permita obtener una mayor intensidad de lectura y una gran linealidad en las curvas de calibración construidas que proporciona el propio equipo. Para ello se ha escogido para Co la longitud de onda 228,616 nm; para Mn longitudes de onda 257,610 nm ó 259 nm; para Pb se ha elegido la longitud de onda 220,353 nm y finalmente para el Zn se escogido las longitudes de onda de 202,548 nm, 206,00 nm ó 213,857 nm. De esta forma, se ha obtenido la curva de calibración para cada uno de los cuatro metales y se ha realizado los cálculos respectivos, obteniendo así la concentración de los extractos de suelo.

## RESULTADOS

En la Figura 3. se representan cada una de las curvas de calibración obtenidas de cada metal, donde se observa una gran linealidad entre la concentración de cada metal frente a la intensidad obtenida mediante el equipo ICP-OES. Esto se corrobora con los valores obtenidos en los coeficientes de determinación ( $r^2$ ) que son superiores a 0,997, lo que muestra una gran ventaja para su aplicabilidad.

Sin embargo, se ha realizado pequeños ajustes a cada curva de calibración para obtener una mejor linealidad; para el caso del Co se eliminó el estándar blanco puesto que sus valores de intensidad son negativos

y afectan el resultado (Figura 3), para el caso del Pb se eliminó el patrón 5 (100  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ ) para linealizar la recta aumentando así el coeficiente de determinación (Figura 3) y para el caso del Zn se eliminó el patrón blanco, ya que su valor altera la linealidad de la muestra (Figura 3). Estas pequeñas alteraciones pueden ser por contaminación de la muestra o mala preparación de algún patrón estándar.

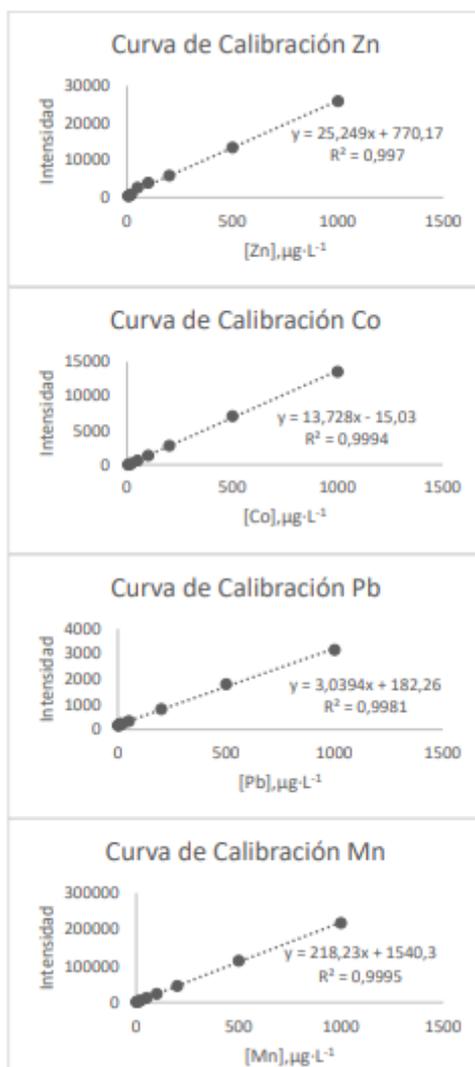


FIGURA 3

A) Curva de calibración del Co con ajustes. B) Curva de calibración Mn. C) Curva de calibración del Pb con ajustes. D) Curva de calibración de Zinc con ajustes.

Las longitudes de onda seleccionadas para cada uno de los metales fueron 228,616 nm para Co; 257,61 nm para Mn; 220,353 nm para Pb y 206,200 nm para Zn. Las demás alternativas fueron descartadas por las interferencias que presentaban otros metales que no eran objeto de análisis (Fe, Cr, Mg, entre otros). Para algunos casos como el del Mn se tuvo que tomar la banda con menor interferencia ya que todas tenían algún grado de alteración por otros analitos y metales que no eran de interés. Con esto se resalta la utilidad del equipo ICP-OES para el análisis simultáneo de diferentes metales en muestras de suelo.

En la Tabla 1 se incluyen los resultados obtenidos con el equipo ICP-OES, el rango lineal de estudio y las muestras de suelo de concentración desconocidas se realizó por triplicado ( $n = 3$ ). Las medias de los valores obtenidos se obtuvieron como respuestas analíticas en las curvas de calibración construidas de cada metal. Los valores de límite de detección (LOD) que se define como la mínima cantidad de analito que puede detectarse en una muestra, cuya señal es diferente a la del ruido; y límite de cuantificación (LOQ), que se

expresa como la menor cantidad de analito que puede determinarse en una muestra con exactitud y precisión bajo el método analítico propuesto. Estos parámetros fueron obtenidos para cada metal y fueron calculados sobre la base de la desviación estándar de los blancos y la pendiente de cada curva de calibración (Gillings et al., 2020). Estos valores resultaron satisfactorios, lo que indica que el instrumento utilizado es muy sensible para la cuantificación de metales a niveles traza de  $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$  en muestras de suelo. Los valores de repetibilidad (intradiarios) expresados como desviación estándar relativa (% RSD) fueron inferiores al 2,1% analizando muestras por triplicado.

**TABLA 1.**  
Parámetros analíticos obtenidos mediante el uso de un equipo ICP-OES.

Parámetros analíticos	Determinación de metales			
	Co	Mn	Pb	Zn
Curva de calibración	I= 13,73 [Co] -15.03	I= 218,23 [Mn]+ 1540,3	I= 3,04 [Pb] +182, 26	I= 25,25 [Zn] -770,17
Coefficiente de correlación	0,999	0,999	0,998	0,997
Rango de linealidad ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	0- 1000	0- 1000	0- 1000	0-1000
LOD ( $3\sigma$ ) ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	10,30	11,85	15,74	8,67
LOQ ( $10\sigma$ ) ( $\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ )	34,35	39,49	53,22	28,89
Repetibilidad (%RSD) (n=3)	1,3	0,8	2,1	1,5

Autores,2021.

En la Tabla 2 se observan las concentraciones obtenidas para cada metal (Co, Mn, Pb y Zn) de las tres muestras de suelo desconocidas (A, B y C). Además, se realizó el análisis de materiales de referencia certificado (MRC) para cada metal para la validación del equipo utilizado obteniéndose así porcentajes de recuperación muy próximos al 100%, con un % de error para el Co de 0,4%, de 7,5 % para el Mn, del 8,4% para Pb y de 0,9% para el Zn. El rango de error se considera aceptable para todos los metales ya que se encuentra dentro del 10% (Gillings et al., 2020); sin embargo, si los valores fuesen superiores, se sugiere realizar un nuevo procesamiento de la muestra de este metal para lograr un error que este por debajo del límite máximo anteriormente mencionado.

**TABLA 2.**  
Resultados obtenidos de las concentraciones obtenidas para cada metal de las muestras de suelo de concentración desconocida y las de referencia.

Concentración de metales en muestras de suelo analizadas mg/kg				
Muestra	Co	Mn	Pb	Zn
A	9,28	468,13	175,94	67,32
B	6,07	310,43	16,46	49,96
C	12,53	725,05	80,106	106,00
MRC	67,61	673,29	117,05	514,26
Valor de referencia	67,9±2,21	623±39,1	108±2,35	519±11
% de recuperación	99,6	92,5	108,4	99,1

Autores,2021.

Se considera como suelo contaminado aquel tipo de suelo que ha sido alterado negativamente por la presencia de agentes químicos que afecte el estado de salud del ser humano. En este contexto, el Real Decreto 9/2005 establece niveles genéricos de referencia (NGR), cuyos valores no conllevan un riesgo superior al máximo aceptable para los ecosistemas o la salud humana. Pese a esto, la concentración natural de los metales analizados difiere significativamente de un lugar a otro como se observa en la Tabla 2. Todos los valores obtenidos de cada metal en las tres muestras de suelo se encuentran por debajo de los límites permisibles por lo cual no genera un riesgo tóxico en la salud humana (Vodyanitskii, 2016).

En este sentido, la muestra C presenta un mayor contenido de Co y la de menor contenido fue la muestra B, que a bajas concentraciones mejora el crecimiento de diferentes plantas. En cuanto al Mn, la muestra con mayor contenido fue la C y la de menor contenido fue la muestra B; este micronutriente es indispensable en todas las etapas del desarrollo de la planta. Por otra parte, la muestra con mayor contenido de Pb fue la A y la de menor contenido fue la muestra B; a altas concentraciones este es un metal pesado contaminante, persistente en el medio y no biodegradable. Finalmente, la muestra la muestra con mayor contenido de Zn fue la C y la de menor contenido fue la muestra B; este metal aporta diferentes funciones a la planta entre ellas la de tolerancia ante patógenos presentes en el suelo.

El Co, Mn y Zn son micronutrientes esenciales para el óptimo funcionamiento de los organismos vivos en los suelos, en contraste que el Pb se considera un metal pesado no esencial (Ahmad et al., 2021). El Co, Zn y Pb se pueden considerar muy tóxicos si sobrepasan los niveles de toxicidad establecidos, pero el Pb es el que más fácilmente se moviliza por la actividad humana en proporciones que exceden en gran medida la de los procesos geológicos (Li et al., 2022). Un suelo que contenga mayor cantidad de Pb (como la muestra A) podría deberse a varios factores antropogénicos como centrales térmicas que usan petróleo y la fabricación de baterías. En general, las áreas altamente industrializadas incluyen Hg, Pb, Zn y otros metales pesados. Por otro lado, un suelo que contenga mayor cantidad de Mn (como la muestra C) posee un mayor poder depurador de los suelos.

Además, el porcentaje de error obtenido en cada uno de los casos puede radicar en diferentes factores: Humanos, asociados al analista, mala medición, mala utilización de los equipos instrumentales; Instrumentales, asociados a la poca o nula calibración de los equipos utilizados en laboratorio como las micropipetas o las bombas de succión, presentando aire dentro de los tubos de inyección al equipo y Circunstanciales, como el uso de material de laboratorio contaminado, influencia de los recipientes plásticos en los cuales se transporta y/o almacena la muestra o interferencia entre analitos de interés y otros metales de la muestra en el espectro final (Guía et al., n.d.).

Por último, se comprobó si existe diferencias significativas entre las tres muestras de suelo analizadas para cada metal como se muestra en la Tabla 3, mediante un tratamiento estadístico ANOVA de un factor utilizando el paquete estadístico Infostat.

Los resultados obtenidos indican que las tres muestras de suelo analizadas para cada metal son estadísticamente diferentes ( $P < 0,05$ ), por lo tanto, no presenta ninguna similitud los extractos de suelo en las concentraciones obtenidas mediante el uso del equipo ICP-OES,

**TABLA 3.**  
Resultados obtenidos de las concentraciones obtenidas para cada metal de las muestras de suelo de concentración desconocida y las de referencia.

Metales	Probabilidad	Significancia
Co	$2,32 * 10^{-6}$	**
Mn	$2,66 * 10^{-8}$	**
Pb	$7,61 * 10^{-9}$	**
Zn	$1,94 * 10^{-8}$	**

Autores,2021.

## CONCLUSIONES

La determinación de los metales: Co, Mn, Pb y Zn fueron determinados mediante espectrometría de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP-OES). En cuanto a sus resultados la muestra de suelo C es rica en Co, Mn y Zn mientras que la muestra A es rica en Pb. La preparación de cada una de las muestras de suelo fue muy importante para eliminar aquellas interferencias que afectan el análisis de los elementos químicos de interés.

Uno de los principales motivos para realizar el análisis de suelo es determinar el contenido de nutrientes esenciales como el contenido de micro elementos (Fe, Cu, Mn, Zn) que influyen en el desarrollo de las plantas, por lo tanto, su análisis es fundamental para determinar la calidad del tipo de suelo.

Es de suma importancia tomar en cuenta todos los posibles factores que puedan afectar la experimentación, para de esta manera conseguir resultados satisfactorios, uno de estos aspectos es la adecuada elección del pico de emisión evitando los que tengan interferentes.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Laboratorio de Química Analítica, Automatización y Medio Ambiente de la Universidad de las Islas Baleares por el apoyo tecnológico para la realización del presente proyecto de Investigación.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Addis, W., & Abebaw, A. (2018). Determination of heavy metal concentration in soils used for cultivation of *Allium sativum* L. (garlic) in East Gojjam Zone, Amhara Region, Ethiopia. <http://www.editorialmanager.com/Cogentchem>, 3(1), 1419422. <https://doi.org/10.1080/23312009.2017.1419422>
- Ahmad, W., Alharthy, R. D., Zubair, M., Ahmed, M., Hameed, A., & Rafique, S. (2021). Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk. *Scientific Reports* 2021 11:1, 11(1), 1–12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-94616-4>

- Gillings, N., Todde, S., Behe, M., Decristoforo, C., Elsinga, P., Ferrari, V., Hjelstuen, O., Peitl, P. K., Kozirowski, J., Laverman, P., Mindt, T. L., Ocak, M., & Patt, M. (2020). EANM guideline on the validation of analytical methods for radiopharmaceuticals. *EJNMMI Radiopharmacy and Chemistry*, 5(1). <https://doi.org/10.1186/S41181-019-0086-Z>
- Guía, U., Barwick LGC Pedro Morillas Bravo, V. P., R Ellison, S. L., & F Gjengedal, E. L. (2016). Guía Eurachem La Adecuación al Uso de los Métodos Analíticos Primera Edición Española Agradecimientos Grupo del proyecto. Retrieved November 25, 2021, from [www.eurachem.org](http://www.eurachem.org)
- Li, H., Liang, F., Qin, Z., Zhang, J., Wang, K., & Jiang, M. (2022). Spatial Distribution of Heavy Metals in Soil Based on Kriging Interpolation. 141–149. [https://doi.org/10.1007/978-981-16-5036-9\\_16](https://doi.org/10.1007/978-981-16-5036-9_16)
- Mao, J.-C., Liu, X.-Y., Bao, C., Luo, F.-M., Wu, X.-D., Jiang, D.-H., & Zheng-Gang, L. (2017). Determination of heavy metals in soil by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS) with internal standard method. *Electronics Science Technology and Application*, 4(1). <https://doi.org/10.18686/ESTA.V4I1.36>
- Nyika, J., Onyari, E., Dinka, M. O., & Mishra, S. B. (2019). A Comparison of Reproducibility of Inductively Coupled Spectrometric Techniques in Soil Metal Analyses: <https://doi.org/10.1177/1178622119869002>, 12. <https://doi.org/10.1177/1178622119869002>
- Oral, E. V., Ziyadanogullari, \* Berrin, Aydinn, F., Dinc, E., Ziyadanogullari, and R., Oral, E. V., Ziyadanogullari, \* Berrin, Aydinn, F., Dinc, E., & Ziyadanogullari, R. (2020). ICP-OES Method for the Determination of Fe, Co, Mn, Cu, Pb, and Zn in Ore Samples From the Keban Region Using Experimental Design and Optimization Methodology. *Atomic Spectroscopy*, 37(4), 142–149. <https://doi.org/10.46770/AS.2016.04.003>
- Othman, Y. A., Al-Assaf, A., Tadros, M. J., Albalawneh, A., & Herrera-Melián, A. (2021). Heavy Metals and Microbes Accumulation in Soil and Food Crops Irrigated with Wastewater and the Potential Human Health Risk: A Metadata Analysis. *Water* 2021, Vol. 13, Page 3405, 13(23), 3405. <https://doi.org/10.3390/W13233405>
- Radomirović, M., Ćirović, Ž., Maksin, D., Bakić, T., Lukić, J., Stanković, S., & Onjia, A. (2020). Ecological Risk Assessment of Heavy Metals in the Soil at a Former Painting Industry Facility. *Frontiers in Environmental Science*, 8, 177. <https://doi.org/10.3389/FENV.2020.560415/BIBTEX>
- Vodyanitskii, Y. N. (2016). Standards for the contents of heavy metals in soils of some states. *Annals of Agrarian Science*, 14(3), 257–263. <https://doi.org/10.1016/J.AASCI.2016.08.011>
- Yi, R., Yang, X., Zhou, R., Li, J., Yu, H., Hao, Z., Guo, L., Li, X., Lu, Y., & Zeng, X. (2018). Determination of Trace Available Heavy Metals in Soil Using Laser-Induced Breakdown Spectroscopy Assisted with Phase Transformation Method. *Analytical Chemistry*, 90(11), 7080–7085. <https://doi.org/10.1021/ACS.ANALCHEM.8B01756>
- Zhao, W. (2019). IOP Conference Series: Earth and Environmental Science Determination of Six Heavy Metal Elements Such as Co in Solid Waste by ICP-MS. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci*, 300, 32108. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/300/3/032108>