



EVALUACIÓN DEL CONTENIDO DE METALES EN SUELOS Y TEJIDOS COMESTIBLES DE *Allium fistulosum* L. CULTIVADO EN ZONAS CERCANAS AL VOLCÁN TUNGURAHUA

METAL CONTENT EVALUATION IN SOILS AND EDIBLE TISSUES OF *Allium fistulosum* L. ON CROPS NEAR THE TUNGURAHUA VOLCANO

Jorge Briceño*¹ , Evelyn Tonato¹ , Mónica Silva¹ , Mayra Paredes¹ y
Arnaldo Armado²

¹ Laboratorio de alimentos funcionales, Facultad de Ciencia Ingeniería en Alimentos y Biotecnología. Universidad Técnica de Ambato. Campus Huachi, Av. Los Chasquis y Río Payamino, CP. 180206, Ambato, Ecuador.

² Centro de Investigación Ambiental, Biología y Química. Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad de Carabobo, Naguanagua (2005), Carabobo, Venezuela.

*Autor para correspondencia: jbriceno@uc.edu.ve

Manuscrito recibido el 4 de septiembre de 2019. Aceptado, tras revisión, el 30 de marzo de 2020. Publicado el 1 de septiembre de 2020.

Resumen

El volcán Tungurahua, ubicado en la cordillera oriental de Ecuador, desde su reactivación en 1999 ha entrado en varias fases de actividad volcánica, produciendo emisiones de gas, cenizas y lava. Estas emisiones liberan una gran cantidad de metales a suelos cercanos que, en la actualidad, se emplean con fines agrícolas. La contaminación por metales puede provocar graves problemas para la salud humana; mientras que otros metales son necesarios como nutrientes, en la mayoría de los cultivos agrícolas. En esta investigación, se evaluó el contenido de metales en suelos agrícolas del cantón Quero, su biodisponibilidad y el contenido en el cultivo de *Allium fistulosum* L., con la finalidad de obtener información sobre el impacto de metales potencialmente contaminantes (cadmio, plomo, níquel, estroncio, cobalto, cobre y cinc) y nutrientes (potasio, magnesio, hierro y manganeso) sobre los cultivos. Para la estimación de metales totales en el suelo se realizó una digestión ácida; para metales biodisponibles se empleó una mezcla extractante (EDTA-Trietanolamina- CaCl_2 , pH 7) y para la cebolla de rama se realizó una calcinación seguida de digestión ácida. La cuantificación de los metales se realizó mediante espectroscopia de absorción atómica (EAA) de llama o de horno de grafito. Los resultados mostraron que el contenido de metales, tanto en las muestras de suelo como en cebolla de rama, estaba por debajo de los valores máximos permitidos en las normas locales para todos los metales estudiados; además, la ingesta del metal por la cebolla de rama fue independiente de la fracción biodisponible.

Palabras clave: Cadmio, cobre, ingesta de metal, metal biodisponible, cebolla de rama.

Abstract

The Tungurahua volcano, located in the eastern mountain range of Ecuador, since its reactivation in 1999 has had several phases of volcanic activity, which have produced gas, ash and lava emissions. These emissions release a large amount of metals to nearby soils that are currently used for agricultural purposes. Metal pollution can cause serious problems for human health; while other metals are necessary as nutrients in most agricultural crops. In this investigation, the metal content in agricultural soils of the Quero canton was evaluated, as well as its bioavailability and content in the culture of *Allium fistulosum L.*, in order to obtain information on the impact of potentially polluting metals (cadmium, lead, nickel, strontium, cobalt, copper and zinc) and nutrients (potassium, magnesium, iron and manganese) on crops. For the estimation of total metals in soil an acid digestion was performed; for bioavailable metals an extractant mixture (EDTA-Triethanolamine- $CaCl_2$, pH 7) was used and for the branch onion a calcination followed by acid digestion was carried out. The quantification of the metals was carried out by flame atomic absorption spectroscopy or graphite furnace. The results showed that the metal content, both in the soil samples and in the branch onion, was below the maximum values allowed in the local regulations for all the metals studied. In addition, the intake of the metal by the branch onion was independent of the bioavailable fraction.

Keywords: Cadmium, copper, metal intake, bioavailable metal, branch onion.

Forma sugerida de citar: Briceño, J., Tonato, E., Silva, M., Paredes, M. y Armado, A. (2020). Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de *Allium fistulosum L.* cultivado en zonas cercanas al volcán Tungurahua.. La Granja: Revista de Ciencias de la Vida. Vol. 32(2):114-126. <http://doi.org/10.17163/lgr.n32.2020.09>.

IDs Orcid:

Jorge Briceño: <http://orcid.org/0000-0002-0692-1228>
Evelyn Tonato: <http://orcid.org/0000-0002-1707-4298>
Mónica Silva: <http://orcid.org/0000-0001-8887-1553>
Mayra Paredes: <http://orcid.org/0000-0001-9320-9177>
Arnaldo Armado: <http://orcid.org/0000-0003-4670-0339>

1 Introducción

El volcán Tungurahua, ubicado en la cordillera oriental de Ecuador, desde su reactivación en 1999 ha entrado en varias fases de actividad volcánica, en las que se han producido emisiones de gas, cenizas y lava (Battaglia y col., 2019). Estas emisiones liberan una gran cantidad de metales a los suelos cercanos que, en la actualidad, se emplean con fines agrícolas. La contaminación por metales pesados en suelos agrícolas puede generar un grave problema para la salud humana, debido a que muchas especies vegetales comestibles pueden absorber del suelo grandes cantidades de metales potencialmente tóxicos. La ingesta de metales, a través del consumo de alimentos contaminados, puede provocar malformaciones, disfunciones neuronales e incluso la muerte (Rai y col., 2019).

Si bien los metales pesados como cadmio, plomo, níquel, cobalto, cobre y zinc, son considerados potencialmente tóxicos (Tóth y col., 2016), para plantas, animales y hasta para los seres humanos (Rai y col., 2019) es cierto que otros metales, tales como potasio, magnesio, hierro y manganeso, son necesarios para el nutrimento de plantas y cultivos agrícolas en general. Es importante evaluar el contenido de metales, tanto en suelos como en los cultivos, ya que la composición del suelo es uno de los factores que influyen en la transferencia de elementos traza dentro de la cadena suelo-planta como parte del ciclo bioquímico (Kabata-Pendias, 2004; Kabata-Pendias y Sadurski, 2004; Tóth y col., 2016). Adicionalmente, conocer el contenido de metales permite evidenciar que el contenido de nutrientes sea el adecuado para el cultivo, y que los metales pesados potencialmente contaminantes estén por debajo de los límites permisibles, según las normativas ambientales nacionales e internacionales.

En el cantón Quero, especialmente en las cercanías del Volcán Tungurahua, se cultiva la cebolla de rama (*Allium fistulosum* L.) entre otros rubros (Choumert-Nkolo y Phélinas, 2019). Por lo tanto, surge la necesidad de evaluar el contenido de metales que han podido ser expelidos en las últimas emisiones de cenizas en 2016 (Battaglia y col., 2019). En la presente investigación, se evaluó el contenido de algunos metales en suelos agrícolas del cantón Quero, su biodisponibilidad y contenido en el culti-

vo de *Allium fistulosum* L., con la finalidad de obtener información del posible impacto de metales sobre los cultivos, teniendo en cuenta que los metales como cadmio, plomo, níquel, estroncio, cobalto, cobre y cinc, pueden ser potenciales contaminantes; y los metales como potasio, magnesio, hierro y manganeso actúan como macro y micronutrientes para el cultivo.

2 Materiales y Métodos

2.1 Zona de muestreo del suelo y la cebolla de rama

Las muestras de suelo y de cebolla de rama fueron seleccionadas de una parcela de 3.884 m² ubicada a 3.185 msnm en el cantón Quero a 12 km del volcán Tungurahua y 29 km del volcán Chimborazo. En la Figura 1, se muestra su ubicación geográfica (A) y la subdivisión de esta en cinco transectos similares para el muestreo (B).

2.2 Selección y conservación de las muestras

Las muestras de suelo y cebolla de rama se recolectaron en noviembre de 2018 cerca de la zona de influencia de las cenizas del volcán Tungurahua. Para la toma de muestras se utilizó el método de zigzag en una parcela a una distancia de 5 metros aproximadamente, dentro de los distintos lugares fijados se excavó de 10-30 cm de profundidad tomando 1-2 kg de suelo aproximadamente. Para la cebolla se cortó un racimo en su etapa final de crecimiento de los mismos lugares donde se tomó la muestra de suelo. Las muestras fueron trasladadas en bolsas de polietileno limpias y adecuadamente etiquetadas. Todo el proceso de muestreo se realizó en un lapso de 5 meses.

La muestra de suelo pasó por un proceso de secado a temperatura ambiente, molido y tamizado con una malla No. 14 y la cebolla fue lavada con agua destilada para retirar la suciedad visible y se tomó la porción comestible para el análisis. Posteriormente, se sometió a un secado por convección a 40°C por 24h, molido y tamizado (Faithfull, T y Ferrando Navarro, 2005) y almacenadas adecuadamente hasta el análisis de los metales de interés.

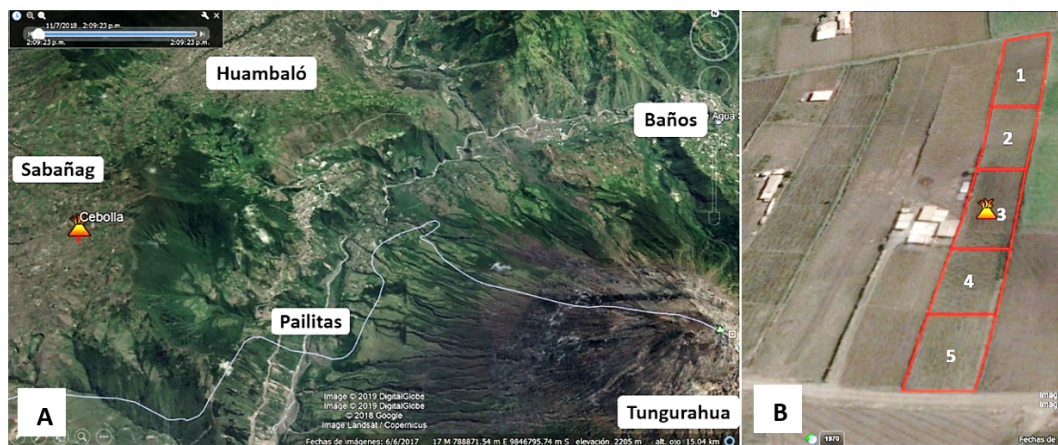


Figura 1. (A) Ubicación Geográfica de la parcela muestreada. (B) Subdivisión y puntos de muestreo. Fuente: Google Earth, 2019.

2.3 Parámetros fisicoquímicos

Para las muestras de suelo se determinó el porcentaje de humedad mediante la pérdida de peso en una estufa, utilizando el método 93.06-37.1.10 (AOAC, 2006). La materia orgánica del suelo se determinó en muestras secadas en estufa a 105°C , mediante pérdidas por ignición a 450°C durante 10h empleando una mufla NABERTHERM LT 15/12/B180 (Cargua Catagña y col., 2017). El pH y la conductividad eléctrica se determinaron en agua destilada (Kazlauskaitė-Jadzevičė y col., 2014), en proporción 1:2,5 p/v usando un potenciómetro, METTER TOLEDO SEVENCOMPACT PH/ION y un conductímetro THERMO SCIENTIFIC ORION VERSASTAR, respectivamente. Para las muestras de cebolla de rama se determinó el contenido de humedad, utilizando una balanza infrarroja METTER TOLEDO HX 2014 MOISTURE ANALYZER, usando 3 g de muestra con condición de trabajo de 150°C y con criterio de secado 1 mg/50 segundos.

2.4 Extracción de metales totales y biodisponibles en muestras de suelo

Para la estimación de la fracción total de cada metal en suelo se realizó una digestión con agua regia (HNO_3 concentrado y HCl concentrado en proporción 1:3 v/v) (Sungur, Soylak y Ozcan, 2014), se pesó por triplicado aproximadamente 0,5 g de suelo en una balanza analítica y se agregó agua regia en una proporción 1:10 p/v a 90°C por 2h con agitación magnética, posteriormente se filtró y aforó a 25 mL con HNO_3 0,14 M.

Para la estimación de la fracción biodisponible de cada metal se empleó una mezcla extractante preparada con EDTA 0,05M, trietanolamina 0,1 M y cloruro de calcio dihidratado 0,01M ajustada a pH: 7 (Khan y col., 2019). Se realizó una extracción en una relación 1:2 suelo/ mezcla extractante, dejando en agitación durante 30 minutos, posteriormente fue centrifugado a 4500 rpm durante 10 min, el sobrenadante fue filtrado por gravedad y aforado a 50 mL con HNO_3 0,14 M (Golia, Dimirkou y Mitsios, 2008).

2.5 Extracción de metales en muestras de cebolla en rama

Las muestras de cebolla de rama fueron sometidas a calcinación a 450°C , seguida de digestión ácida. Se tomaron las cenizas resultantes de la determinación de la materia orgánica y se agregó 0,50 mL de HCl y 0,25 mL de HNO_3 concentrados, luego se dejó en reposo por 15 min y se filtró con microfiltros de Nylon de 13 mm de diámetro y con tamaño de poro de $0,45\mu\text{m}$, se aforó a 25 mL con HNO_3 0,14 M.

2.6 Determinación de metales mediante EAA

La determinación de los metales se llevó a cabo utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica con fuente de línea PG Instruments modelo AA500, empleando las condiciones instrumentales recomendadas por el fabricante para cada metal.

El instrumento está equipado con atomizadores de llama y horno de grafito; se usó una lámpara de deuterio D2 para corregir la absorbancia inespecífica y un automuestreador AUTO SAMPLER PG Instruments modelo AS500 para la introducción de las muestras líquidas en el sistema de atomización. Se emplearon estándares monoelementales (AccuStandard) para obtener diariamente las curvas de calibración de cada elemento. Se determinó la concentración de cobalto, estroncio, plomo, níquel y cadmio con el horno de grafito empleando argón grado 5,0 con 99,99% de pureza (Linde Ecuador S.A.) durante la etapa de pirólisis y con flujo detenido durante la atomización; de igual forma se determinó el potasio, magnesio, manganeso, cobre, hierro y cinc con llama de aire acetileno grado 2,5 y pureza 99,5% (Linde Ecuador S.A.). En todos los dos casos la determinación del contenido de metales se realizó mediante comparación directa de la señal de cada elemento frente al calibrado obtenido para cada metal. Todas las muestras se procesaron por triplicado, incluyendo un blanco intercalado entre cada muestra. La calidad de los datos se verificó mediante la medida de un punto de calibración preparado de manera independiente con otro material de referencia certificado para determinar la veracidad del método.

2.7 Factor de biodisponibilidad, β

La típica medida del contenido total del metal en el suelo no siempre es adecuado para evaluar la movilidad o disponibilidad del mismo (Rieuwerts, 2007). En ese sentido, se estableció un factor de biodisponibilidad β , determinado por la Ecuación 1 para evaluar la fracción biodisponible y que el contenido de metal sea independiente del contenido total del mismo metal en el suelo. Con el valor establecido se pudo evaluar el metal absorbido por la planta (Khan y col., 2015).

$$\beta = \frac{Metal_{\text{biodisponible}}}{Metal_{\text{Total}}} \quad (1)$$

3 Resultados y Discusión

3.1 Parámetros fisicoquímicos del Suelo

Las muestras de los suelos fueron evaluadas en base a los valores de referencia nacionales (Tabla 1) según la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Los resultados obtenidos de la caracterización del suelo estudiado se indican en la Tabla 2. El pH estuvo por debajo de 5, con lo cual el sector de muestreo es fuertemente ácido de acuerdo con lo especificado en la SEMARNAT (2003); estas condiciones favorecen a la solubilidad de los elementos metálicos, permitiendo así una mejor asimilación por parte de las plantas (Kabata-Pendias y Sadurski, 2004; Tangahu y col., 2011).

Tabla 1. Valores de referencia reportados para la clasificación de los suelos. Tomado de SEMARNAT (2003).

Propiedad	Clasificación	Valor
pH	Fuertemente ácido	<5
	Moderadamente ácido	5,1 - 6,5
	Neutro	6,6 - 7,3
	Medianamente alcalino	7,4 - 8,5
	Fuertemente alcalino	>8,5
Conductividad eléctrica [dS/m]	Efectos despreciables de salinidad	<1,0
	Muy ligeramente salino	1,1 - 2,0
	Moderadamente salino	2,1 - 4,0
	Suelo salino	4,1 - 8,0
	Fuertemente salino	8,1 - 16,0
Materia orgánica [%]	Muy fuertemente salino	>16,0
	Muy bajo	<4
	Bajo	4,1 - 6,0
	4,1 - 6,0	6,1 - 10,9
	Alto	11,0 - 16,0
	Muy alto	>16,1

Tabla 2. Caracterización del suelo estudiado.

Puntos	pH	CE [dS/m]	MO [%]	Humedad [%]
1	4,96 (0,06)	0,163(0,002)	2,9 (0,2)	20,4 (2,0)
2	4,88 (0,03)	0,160(0,002)	2,4 (0,1)	18,8 (0,3)
3	4,73 (0,06)	0,238(0,002)	2,6 (0,9)	17,4 (0,6)
4	4,36 (0,04)	0,525(0,003)	2,5 (0,2)	17,5 (1,2)
5	4,93 (0,04)	0,200(0,001)	3,0 (0,2)	20,4 (1,7)

pH: Potencial de hidrógeno, CE: conductividad eléctrica, MO: materia orgánica. Se muestra el promedio y entre paréntesis la desviación estándar para n = 3.

En cuanto a los valores encontrados de conductividad eléctrica se considera que los suelos analizados tienen efectos despreciables de salinidad y los valores del contenido de materia orgánica fueron muy bajos de acuerdo con la SEMARNAT (2003). Sin embargo, estas condiciones han permitido el desarrollo de la planta sin dificultad, por lo que se evidenció en el momento del muestreo, probablemente por la incorporación de residuos de cascara de arroz incorporada al suelo por los agricultores como un intento de mejorar las propiedades del suelo (Park y col., 2011).

El resultado de un suelo con bajo pH y bajo contenido de materia orgánica aumenta la biodisponibilidad de metales para la planta debido a la falta de formación de complejos organometálicos, lo que imposibilita que los metales sean absorbidos por la raíz de la planta que se encuentra en contacto directo con el suelo (Tangahu y col., 2011; Bravo Realpe, Arboleda Pardo y Martín Peinado, 2014; Bornø, Müller-Stöver y Liu, 2019). Por otra parte, la humedad para las muestras de suelo agrícolas colectadas estuvieron entre 17,4 y 20,4%, esta es una característica íntimamente relacionada con el clima de cada lugar y las condiciones del día de recolección.

3.2 Contenido de humedad y cenizas en cebolla de rama

En las muestras de cebolla de rama los parámetros de humedad y cenizas fueron desde 90,63 a 91,70% y de 5,17 a 6,06%, respectivamente. En general, el contenido de humedad es consistente con una revisión realizada por Mitra y Rao (2012) de 91,20%, mientras que el contenido de cenizas fue similar a los obtenidos por Bello y col. (2013) quienes reportaron valores de hasta 11,46%. Sin embargo, estas propiedades son de un mínimo control puesto que

están influenciadas por condiciones climáticas y el relieve del suelo, condiciones de transporte y almacenamiento del producto en su postcosecha.

3.3 Contenido de metales en suelo y cebolla

El contenido de metales fue comparado con valores de referencia según normativas nacionales e internacionales. Para el caso específico de la cebolla de rama al mayor conocimiento de los autores no se encontró una legislación que regule el contenido de metales, sin embargo, fue tomado como referencia el valor correspondiente a rubros similares al analizado. En la Tabla 3 se reúnen los valores de diversas legislaciones para alimentos y para suelos tomados del MAE.

Los resultados obtenidos del contenido de metales en las muestras de suelos para las fracciones solubles en agua regia (totales), la fracción soluble en la mezcla extractante (biodisponibles) y en las muestras de cebollas se expresa como cantidad del metal en masa fresca (ver Tabla 4). La discusión de los resultados estuvo en función del contenido total, la fracción biodisponible y el valor encontrado en la cebolla para cada uno de los metales.

El contenido de cadmio (total 0,09-0,13 mg/kg y biodisponible 0,0218-0,049 mg/kg) para las muestras de suelo se encontró dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos para suelos, de acuerdo con el MAE (valores por debajo de 0,5 mg/kg). Los resultados obtenidos para este metal se encuentran dentro de los valores reportados (0,07-1,35 mg/kg) en suelos de Nueva Zelanda (Cavanagh y col., 2019); sin embargo son menores a los reportados en suelos de un área petroquímica (0,25-1,50 mg/kg) en Sardinia, Italia (Cortis y col., 2016) y en sedimentos del lago de Texco-

co (0,64–2,28 mg/kg), ubicado al este del Cinturón Volcánico Transmexicano (Sedeño-Díaz y col., 2020). En otro estudio realizado en sedimentos del lago Caviahue, Argentina, afectado por fluidos del volcán Copahue los valores de cadmio estuvieron por debajo del límite de detección (Cabrera, Temporetti y Pedrozo, 2015).

En cuanto al contenido de Cd en la porción co-

mestible de cebolla en ramas (0,0188-0,030 mg/kg) fue comparable con otra variedad de cebolla de Nueva Zelanda donde han reportado 0,007- 0,05 mg/kg (Cavanagh y col., 2019). Adicionalmente, de acuerdo con las legislaciones consultadas en todos los casos las muestras se encontraron por debajo de los límites establecidos del contenido de cadmio (0,1 mg/kg para Unión Europea, Australia, Codex Alimentarius y 0,03 mg/kg para Rusia).

Tabla 3. Criterios de Calidad de Suelo y hortalizas. Adaptado de Diaz. (2014).

Metal	Suelo		Productos Alimenticios [mg/kg]					
	MAE [mg/Kg]	UE	Legislación Australiana	Legislación brasileña	Codex Alimentarius	Finlandia	Rusia	Sudáfrica
Cd	0,5	0,1 Hortalizas de raíz y tubérculo y tallos jóvenes	0,1 Hortalizas de hojas/ Raíces y tubérculos	1 Otros alimentos fuera de zumos, bebidas alcohólicas y productos de pesca.	0,1 Hortalizas de tallo y raíz	-	0,03 Hortalizas / frutas	0,05 Frutas y hortalizas
Co	10	-	-	-	-	-	-	-
Cu	30	-	-	5 Frescos	-	10 Hortalizas	-	5 Zumos de hortalizas, frutas y néctares
Ni	20	-	-	5 Otros alimentos fuera de zumos, bebidas alcohólicas y productos hidrogenados	-	-	-	-
Pb	25	0,3 Hortalizas	0,1 Hortalizas (excepto Brassica)	0,5 Hortalizas	0,1 Raíces y tubérculos	1 Papa, pepino, natsudaidai (Pulpa), melocotón, fresa y uva.	0,5 Hortalizas / frutas	0,1 Frutas y otras hortalizas
Zn	60	-	-	-	-	-	-	5 Zumos de hortalizas, frutas y néctares
Fe, K, Mg, Mn, Sr		-	-	-	-	-	-	-

El contenido de plomo (total 0,64-1,28 mg/kg y biodisponible 0,25-0,29 mg/kg), para el suelo no superó los 25 mg/kg, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos de acuerdo con el MAE y por debajo de los encontrados por (Arnalds y col., 2007) para suelos volcánicos

italianos que reportan valores hasta 3.420 mg/kg. Asimismo, el contenido de Pb en la cebolla (0,040-0,058 mg/kg) en todos los casos fue menor a los límites establecidos según las legislaciones consultadas (0,3 mg/kg para la Unión Europea, y 0,1 mg/kg para Australia, Codex Alimentarius y Sudáfrica).

Tabla 4. Contenido de metales en suelos y tejido comestible de *Allium fistulosum* L.

Metal	Contenido en suelo (mg/kg)		Contenido en tejido comestible de <i>Allium fistulosum</i> L. (mg/kg)
	Total	Biodisponible	
Cd	0,09 -0,13	0,0218 - 0,049	0,0188 - 0,030
Pb	0,64 - 1,28	0,25 - 0,29	0,040-0,058
Ni	13,9-18,6	0,9-1,8	5,1-6,9
Co	5,8-9,0	0,22-0,34	0,085-0,12
Sr	7,4-19,5	0,83-1,24	0,84-0,95
Cu	14,8-21,6	4,8-6,2	0,44-0,61
Zn	72,5-88,7	4,4-7,0	5,0-6,16
K	95-601	58-148	652-829
Mg	1217-3217	84-96	128-147
Fe	6462-7850	246-289	8,6-10,3
Mn	55-73	6,7-8,3	1,43-1,61

En cuanto al contenido de níquel (total 13,9-18,6 mg/kg y biodisponible 0,9-1,8 mg/kg) el suelo no superó los 20 mg/kg, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos de acuerdo con el MAE, siendo menores a los encontrados por Arnalds y col. (2007) para suelos volcánicos italianos con valores hasta 101 mg/kg. Por otra parte, los valores obtenidos (5,1 a 6,9 mg/kg) para el contenido de Ni en el tejido comestible de la cebolla en rama resultaron con valores por encima de los límites establecidos, de acuerdo con la legislación consultada (5 mg/kg para Brasil); sin embargo, hay que enfatizar que la categorización no es específica de la cebolla en ramas.

El contenido de cobalto (total 5,8-9,0 mg/kg y biodisponible 0,22-0,34 mg/kg) en suelo no superó los 10 mg/kg, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental establecidos de acuerdo con el MAE y concuerdan con el contenido de cobalto reportado para suelos volcánicos europeos con máximo 33 mg/kg (Arnalds y col., 2007) y suelos agrícolas de la isla de São Miguel con valores medios desde 1,66 hasta 13,9 mg/kg (Linhares y col., 2019). En cuanto al contenido de Co en la porción comestible de la cebolla en rama se encontró entre 0,085 y 0,12 mg/kg (las legislaciones consultadas

no indican valores límites de Co).

Para el contenido de estroncio en suelos (total 7,4-19,5 mg/kg y biodisponible 0,83-1,24 mg/kg) y en la cebolla en rama (0,84-0,95 mg/kg), no se encontró comparación con alguna legislación, sin embargo, se han reportado valores superiores en otros trabajos, por ejemplo, estudio de la acumulación de estroncio por plantas nativas cultivadas en suelos mineros de Gumuskoy y se reportaron valores entre 22,60 y 691,80 mg/kg en suelos y los niveles medios de Sr fueron de 163,65 y 163,93 mg/kg para raíces y brotes, respectivamente de las plantas estudiadas (Sasmaz y Sasmaz, 2017), y también, en minerales volcánicos en Chaco Canyon, Nuevo México con valores máximos de 254 mg/kg (Tankersley y col., 2018).

El contenido de cobre (total 14,8-21,6 mg/kg y biodisponible 4,8-6,2 mg/kg) en suelos no superó los 30 mg/kg, manteniéndose dentro de los estándares de calidad ambiental de acuerdo con el MAE y por debajo de los reportado para suelos volcánicos italianos con valores hasta 565 mg/kg (Arnalds y col., 2007); sin embargo, como nutriente se encontró en niveles muy altos (>5 mg/kg). Por otra parte, el contenido de Cu en la cebolla en ramas (0,44 a

0,61 mg/kg) fue bajo, encontrándose por debajo de los límites establecidos, de acuerdo con las legisla-

ciones consultadas (5 mg/kg para Brasil y Sudáfrica, y 10 mg/kg para Finlandia).

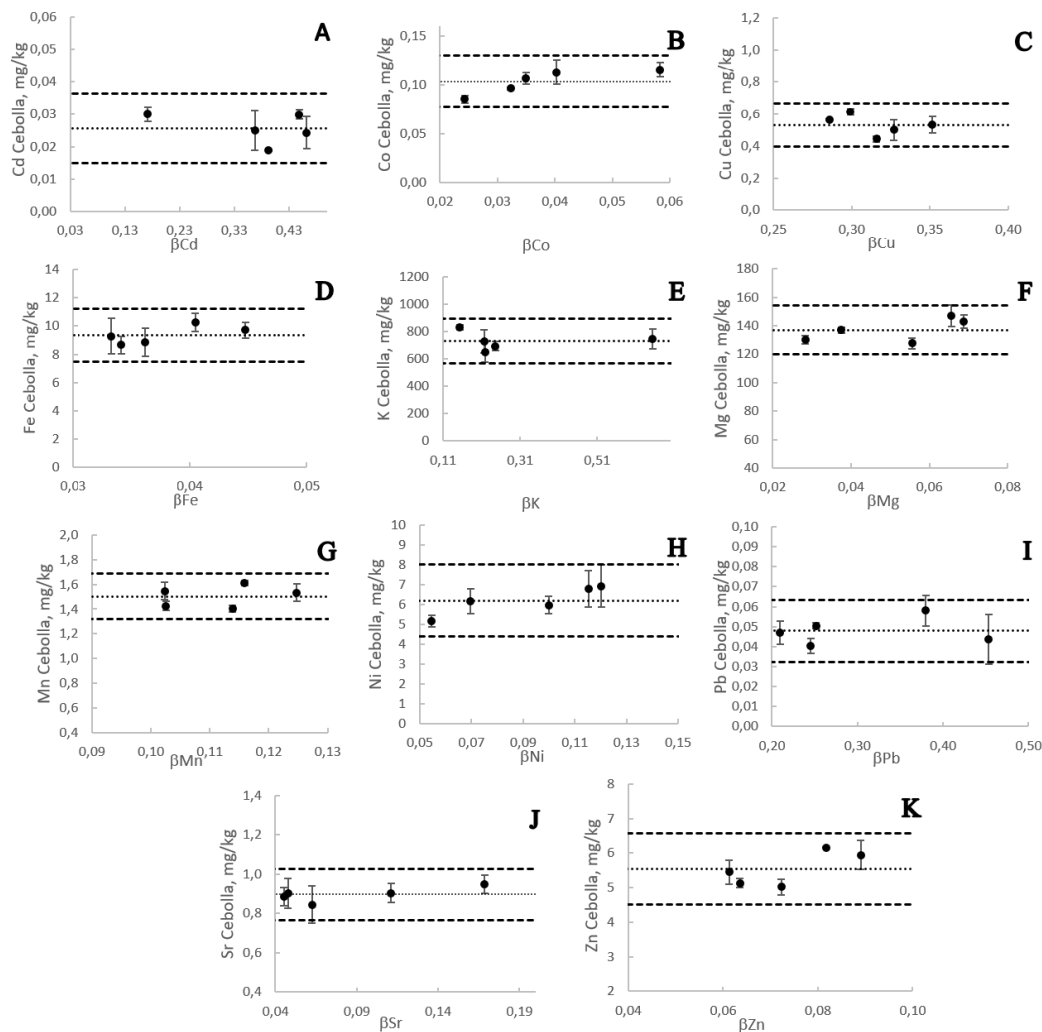


Figura 2. La absorción de metal por la cebolla de rama en función de la fracción biodisponible en el suelo.

El contenido de zinc total obtenido (72,5-88,7 mg/kg) superó los 60 mg/kg, estando fuera de los estándares de calidad ambiental de acuerdo con el MAE; aunque la fracción biodisponible (4,4-7,0 mg/kg) está por debajo de ese límite, y por debajo de los reportado para suelos volcánicos italianos donde han reportado valores de hasta 2.550 mg/kg (Arnalds y col., 2007). Como nutriente se encuentra en niveles muy altos (>20 mg/kg), y su biodisponibilidad va de media (2-5 mg/kg) a alta (5-20 mg/kg). Por otra parte, el contenido de Zn en

cebolla de rama (5,0-6,16 mg/kg) se encontró por encima del valor de referencia (5 mg/kg de acuerdo con legislación de Sudáfrica) para zumos de hortalizas, frutas y néctares. No se encontraron valores de referencia de la cebolla en rama o algunos otros vegetales.

El contenido de potasio (total 95-601 mg/kg y biodisponible 58-148 mg/kg) en suelos resultó muy alto como nutriente, sin embargo, aunque no hay normativas ambientales que regulen su contenido,

se encuentra por debajo de lo reportado en otros trabajos, como ejemplo valores de hasta 3.500 mg/kg de potasio en suelos de en una localidad industrial en Italia (Cortis y col., 2016). En cuanto al contenido en la cebolla en rama resultó entre 652 y 829 mg/kg. Es importante destacar que la ingesta de potasio recomendada es entre 90-120 mmol/día en adultos para reducir la tensión arterial y el riesgo de enfermedades cardiovasculares, accidentes cerebrovasculares y cardiopatía coronaria en adultos (WHO, 2012).

El contenido de magnesio (total 1217-3217 mg/kg y biodisponible 84-96 mg/kg) en suelos fue elevado, resultando con niveles de biodisponibilidad muy altos (>8 cmol/kg); aunque ambientalmente no hay normativas que restrinjan su contenido. Se han reportado valores promedios de Mg de 29.052 mg/kg, en sedimentos del lago Texcoco (Sedeño-Díaz y col., 2020). Mientras que el contenido de magnesio en la cebolla estuvo entre 128 y 147 mg/kg. La ingesta diaria recomendada para magnesio es variada, dependiendo de la edad y el sexo con valores entre 30 y 420 mg para regular la función de los músculos, formación de proteínas, crecimiento óseo, entre otros (NIH, 2016).

El contenido de hierro (total 6 462-7 850 mg/kg y biodisponible 246-289 mg/kg) en el suelo como nutriente, resultaron muy altos (>200 mg/kg), sin embargo, estas concentraciones elevadas son habituales en la mayoría de los suelos agrícolas, sin que esto represente efectos negativos. Como ejemplo, se pueden citar estudios realizados en sedimentos de un lago en México (promedios de 14 428 mg/kg) y en suelos cercanos a una zona industrial en Italia hasta 3 200 mg/kg (Cortis y col., 2016). Mientras que el contenido de hierro en la cebolla se encontró desde 8,6 a 10,3 mg/kg, por encima de valores reportados de 0,84 a 2,47 (Vilanova y col., 2008) y dentro de los reportados por Bello y col. (2013) de hasta 40 mg/kg en el bulbo estimado con 90% humedad.

El contenido de manganeso (total 55-73 mg/kg y biodisponible 6,7-8,3 mg/kg) como nutriente en el suelo es considerado alto (50-100 mg/kg), aunque su biodisponibilidad fue baja (2-10 mg/kg). Estos valores son menores a los reportados por Linhares y col. (2019) para suelos agrícolas de seis zonas volcánicas de la isla de São Miguel (1 782,50 ±

108,98). Mientras que el contenido de manganeso en la cebolla se encontró entre 1,43 y 1,61 mg/kg. No se encontraron legislaciones que regulen el contenido de manganeso en suelos ni en alimentos. Para la mayoría de los metales estudiados se observó que estaban dentro de los valores máximos establecidos en las normas consultadas, alineado con los resultados obtenidos en un estudio de metales en piña y pitahaya cultivadas en los alrededores del volcán Masaya en Nicaragua.

3.4 Factor de biodisponibilidad β

En la figura 2 se muestra la influencia de la fracción biodisponible del metal en el suelo sobre la absorción de este por la cebolla de rama. Se representa en la línea discontinua fina el promedio de los valores conseguidos de metal en cebolla de rama y en su entorno las líneas discontinuas gruesas representan los límites superiores e inferiores determinados como el promedio más o menos 1,96 (correspondiente al valor de z para un 95% de confianza) veces la desviación estándar.

La absorción de metal en las muestras de cebolla de rama analizadas presentó una correlación independiente de la fracción biodisponible en el suelo y en todos los casos fue menor a la concentración total del mismo metal en el suelo. Este comportamiento observado en la Figura 2 muestra que la cebolla no resulta una planta acumuladora de metales puesto que absorbe exclusivamente cantidades necesarias de sus nutrientes provenientes del suelo. A diferencia de otras plantas como la *Brassica napus* que se ha investigado su función en la recuperación de la salud de los suelos contaminados con metales y Diesel por rizoremediación (Lacalle y col., 2018) o el vetiver (*Vetiveria zizanioides*) que es empleada para la fitorremediación por sus propiedades de bioacumulación de metales (Chen, Shen y Li, 2004; Almeida y col., 2019; Shabbir y col., 2019). Posiblemente estos resultados podrían ser debido a que la cebolla de rama es de ciclo corto, lo cual limita su exposición a los metales por periodos prolongados. Se ha mencionado que las plantas absorben metales en diferentes grados dependiendo de la especie vegetal y de la exposición del metal (Intawongse y Dean, 2006; Khan y col., 2015).

4 Conclusiones

El suelo estudiado colectado en una zona afectada por las cenizas de volcán Tungurahua fue fuertemente ácido, con efecto despreciable de salinidad y bajo contenido de materia orgánica. El contenido de metales potencialmente contaminantes (cadmio, plomo, níquel, estroncio y cobalto), en suelo y cebolla de rama del cantón Quero, en todos los casos está por debajo de las normativas consultadas. El contenido de metales nutrientes (potasio, manganeso, magnesio, hierro, cobre y zinc) se encontró en niveles adecuados, en ningún caso se encontró deficiencia.

La biodisponibilidad de los metales en suelos cercanos al volcán Tungurahua permitió determinar que la ingesta del metal por la cebolla de rama fue independiente de la fracción biodisponible del metal en el suelo para todos los metales estudiados.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por la DIDE-UTA a través de los proyectos Biodisponibilidad de metales en suelos del cantón Quero de la provincia de Tungurahua HCU 0194-CU-P-2018 y Proyecto Cance de Deuda Ecuador-España HCU 0939-CU-P-2016, ambos de la Facultad de Ciencia e Ingeniería en Alimentos y Biotecnología.

Referencias

AOAC (2006). «Official methods of analysis Proximate Analysis and Calculations Moisture (M) Fruits, Vegetables, and their Products - item 107.» En: *Association of Analytical Communities*. Vol. Reference data: Method 934.06 (37.1.10); NFNAP; WATER.

Almeida, A. y col. (2019). «Phytoremediation potential of *Vetiveria zizanioides* and *Oryza sativa* to nitrate and organic substance removal in vertical flow constructed wetland systems». En: *Ecological Engineering* 138, 19-27. Online:https://bit.ly/3gICrYg.

Arnalds, Ó. y col. (2007). *Soils of volcanic regions in Europe*.

Battaglia, J. y col. (2019). «Autopsy of an eruptive phase of Tungurahua volcano (Ecuador) through coupling of seismo-acoustic and SO₂ recordings with ash characteristics». En: *Earth and Planetary Science Letters* 511, 223-232. Online:https://bit.ly/2W7wKLF.

Bello, M. y col. (2013). «Characterization of domestic onion wastes and bulb (*Allium cepa* L.): fatty acids and metal contents». En: *International Food Research Journal* 20.5, 2153-2158. Online:https://bit.ly/3fhgqwJ.

Bornø, Ma., D. Müller-Stöver y F. Liu (2019). «Biochar properties and soil type drive the uptake of macro-and micronutrients in maize (*Zea mays* L.)» En: *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 182.2, 149-158. Online:https://bit.ly/2ZWJcPt.

Bravo Realpe, I., C. A. Arboleda Pardo y F. J. Martín Peinado (2014). «Efecto de la calidad de la materia orgánica asociada con el uso y manejo de suelos en la retención de cadmio en sistemas altoandinos de Colombia». En: *Acta Agronómica* 63.2, 1-14. Online:https://bit.ly/3gNvR2Q.

Cabrera, J., P. Temporetti y F. Pedrozo (2015). «Trace metal partitioning and potential mobility in the naturally acidic sediment of Lake Caviahue, Neuquén, Argentina». En: *Revista Clínica Las Condes* 26.2, 217-222. Online:https://bit.ly/3g4YSpT.

Cargua Catagña, F. y col. (2017). «Analytical methods comparison for soil organic carbon determination in Andean Forest of Sangay National Park-Ecuador». En: *Acta Agronómica* 66.3, 408-413. Online:https://bit.ly/321hjIN.

Cavanagh, J. A. E. y col. (2019). «Cadmium uptake by onions, lettuce and spinach in New Zealand: Implications for management to meet regulatory limits». En: *Science of the total Environment* 668, 780-789. Online:https://bit.ly/3iO1vip.

Chen, Y., Z. Shen y X. Li (2004). «The use of vetiver grass (*Vetiveria zizanioides*) in the phytoremediation of soils contaminated with heavy metals». En: *Applied Geochemistry* 19.10, 1553-1565. Online:https://bit.ly/3fiLQpf.

Choumert-Nkolo, J. y P. Phélinas (2019). «Natural disasters, land and labour». En: *European Review of Agricultural Economics* 47.1, 296-323. Online:https://bit.ly/2CnRiso.

Cortis, P. y col. (2016). «Chemical, molecular, and proteomic analyses of moss bag biomonitoring in a petrochemical area of Sardinia (Italy)». En:

- Environmental Science and Pollution Research* 23.3, 2288-2300. Online: <https://bit.ly/2W9MQUS>.
- Diaz., A. (2014). *METALES PESADOS*. Inf. téc. Valencia: Secretaria de Estado de Comercio.
- Faithfull, N. T., Nigel T y A. C. Ferrando Navarro (2005). *Métodos análisis químico agrícola: manual práctico*. Acribia. Accessed: 19 August 2019. URL: <https://bit.ly/2OeAA11>.
- Golia, E. E., A. Dimirkou e I. K. Mitsios (2008). «Influence of some soil parameters on heavy metals accumulation by vegetables grown in agricultural soils of different soil orders». En: *Bulletin of environmental contamination and toxicology* 81.1, págs. 80-84.
- Intawongse, M. y J. R. Dean (2006). «Uptake of heavy metals by vegetable plants grown on contaminated soil and their bioavailability in the human gastrointestinal tract». En: *Food additives and contaminants* 23.1, 36-48. Online: <https://bit.ly/302bpnT>.
- Kabata-Pendias, A. y W. Sadurski (2004). «Trace elements and compounds in soil». En: *Elements and their compounds in the environment: Occurrence, analysis and biological relevance*, 79-99. Online: <https://bit.ly/3iRFZcB>.
- Kabata-Pendias, Alina (2004). «Soil-plant transfer of trace elements—an environmental issue». En: *Geoderma* 122.2-4, 143-149. Online: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0016706104000084>.
- Kazlauskaitė-Jadzevičė, A. y col. (2014). «The role of pH in heavy metal contamination of urban soil». En: *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management* 22.4, 311-318. Online: <https://bit.ly/2DvLcXj>.
- Khan, A. y col. (2015). «The uptake and bioaccumulation of heavy metals by food plants, their effects on plants nutrients, and associated health risk: a review». En: *Environmental Science and Pollution Research* 22.18, 13772-13799. Online: <https://bit.ly/327VmrX>.
- Khan, A. y col. (2019). «Heavy metals effects on plant growth and dietary intake of trace metals in vegetables cultivated in contaminated soil». En: *International journal of Environmental Science and Technology* 16.5, 2295-2304. Online: <https://bit.ly/38VdQgk>.
- Lacalle, R. y col. (2018). «Brassica napus has a key role in the recovery of the health of soils contaminated with metals and diesel by rhizoremediation». En: *Science of The Total Environment* 618, 347-356. Online: <https://bit.ly/2WrshUr>.
- Linhares, D. y col. (2019). «Cobalt distribution in the soils of São Miguel Island (Azores): From volcanoes to health effects». En: *Science of The Total Environment* 684, 715-721. Online: <https://bit.ly/2Zih2iP>.
- Mitra J. and Shrivastava, S. y P. S. Rao (2012). «Onion dehydration: a review». En: *Journal of food science and technology* 49.3, 267-277. Online: <https://bit.ly/38Mbpwg>.
- NIH (2016). *¿Qué es el magnesio? ¿Para qué sirve?* National Institutes of Health, U.S. Department of Health & Human Services.
- Park, J.H. y col. (2011). «Biochar reduces the bioavailability and phytotoxicity of heavy metals». En: *Plant and soil* 348.1-2. Online: <https://bit.ly/3fjXbVW>, pág. 439.
- Rai P. and Lee, S. S. y col. (2019). «Heavy metals in food crops: Health risks, fate, mechanisms, and management». En: *Environment International* 125, 365-385. Online: <https://bit.ly/3iQAWcq>.
- Rieuwerts, J. S. (2007). «The mobility and bioavailability of trace metals in tropical soils: a review». En: *Chemical Speciation and Bioavailability* 19.2, 75-85. Online: <https://bit.ly/3frUzWk>.
- SEMARNAT (2003). *Acuerdo que establece las reglas de operación para el otorgamiento de Pagos del Programa de Servicios Ambientales Hidrológicos*. Viernes, 3, 6-23. SGR. (2014). *Programa de Prevención y Mitigación para Reducir el Riesgo por Diferentes Amenazas*. Inf. téc. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Sasmaz, M. y A. Sasmaz (2017). «The accumulation of strontium by native plants grown on Gumuskoy mining soils». En: *Journal of Geochemical Exploration* 181, 236-242. Online: <https://bit.ly/2ZkvYwP>.
- Sedeño-Díaz, Jacinto Elías y col. (2020). «Distribution Coefficient and Metal Pollution Index in Water and Sediments: Proposal of a New Index for Ecological Risk Assessment of Metals». En: *Water* 12.1, 29. Online: <https://bit.ly/3ei4Brr>.
- Shabbir, A. y col. (2019). «*Vetiveria zizanioides* (L.) Nash: A Magic Bullet to Attenuate the Prevailing Health Hazards». En: *Plant and Human Health, Volume 2*. Springer, 99-120. Online: <https://bit.ly/2ZUdlic>.
- Sungur, A., M. Soylak y H. Ozcan (2014). «Investigation of heavy metal mobility and availability by the BCR sequential extraction procedure:

- relationship between soil properties and heavy metals availability». En: *Chemical Speciation and Bioavailability* 26.4, 219-230. Online: <https://bit.ly/3020RFp>.
- Tangahu, B. V. y col. (2011). «A review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation». En: *International Journal of Chemical Engineering* 2011. Online: <https://bit.ly/3fqx5C>.
- Tankersley, K. B. y col. (2018). «Volcanic minerals in Chaco Canyon, New Mexico and their archaeological significance». En: *Journal of Archaeological Science: Reports* 17. 17(November 2017), 404-421. Online: <https://bit.ly/2AP6RJ2>.
- Tóth, G. y col. (2016). «Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety». En: *Environment international* 88, 299-309. Online: <https://bit.ly/3ekqQNE>.
- Vilanova, Mar y col. (2008). «Descriptive analysis of wines from *Vitis vinifera* cv. Albariño». En: *Journal of the Science of Food and Agriculture* 88.5, 819-823. Online: <https://bit.ly/3eINQfd>.
- WHO (2012). *Guideline: Potassium intake for adults and children*. Inf. téc. World Health Organization.