



Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración

Heavy metal content (Cu, Pb, Ni, Cd) in organic fertilizers and raw materials for their production

Autores

✉ ¹Juan Pablo Dueñas-Rivadeneira

✉ ²Fran Guillermo Intriago Flor

¹Universidad Técnica de Manabí. Manabí, Ecuador.

²Departamento de Procesos Agroindustriales. Universidad Técnica de Manabí. Manabí, Ecuador.

*Autor de correspondencia.

Citación sugerida: Dueñas-Rivadeneira, J. P. e Intriago Flor, F. G. (2022). Contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en abonos orgánicos y las materias primas para su elaboración. *La Técnica*, 12(1), 62-67. DOI: https://doi.org/10.33936/la_tecnica.v0i27.3674

Recibido: Octubre 15, 2021

Aceptado: Diciembre 16, 2021

Publicado: Enero 05, 2022

Resumen

La utilización de abonos orgánicos tales como compost y humus obtenidos a partir de materias primas de residuos orgánicos, es una alternativa que cada día es más utilizada en diversos cultivos, ante lo cual es necesario realizar una evaluación del contenido de metales pesados, ya que estos pueden acumularse tanto en el suelo como en los sustratos y logran alterar el equilibrio biológico afectando a la salud del ser humano, siendo una problemática que compromete la seguridad alimentaria y la salud pública. El objetivo fue determinar el contenido de metales pesados de cobre (Cu), plomo (Pb), níquel (Ni) y cadmio (Cd) presentes en las materias primas (pasto de corte, gallinaza, cáscara de maní y estiércol vacuno) en la producción de abonos orgánicos (compost y humus) utilizadas en la asociación de productores de cacao Fortaleza del Valle. Las muestras fueron recolectadas, secadas y tamizadas, luego en el laboratorio se realizó una digestión con ácido nítrico (HNO_3) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) utilizando el método 3050B de USDPA. La cuantificación de los metales pesados se realizó por espectrometría ICP ICAP 7200 bajo la Norma EPA 6010C. Los resultados obtenidos fueron validados estadísticamente y demostraron que el contenido de Cu, Pb, Ni, Cd en cada una de las materias primas y abonos orgánicos estaban dentro de los límites permisibles de acuerdo con lo que se establece en el Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola emitido por AGROCALIDAD en el 2020.

Palabras clave: metaloides; bioacumulación; humus; compost; ICP.

Abstract

The use of organic fertilizers such as compost and humus obtained from raw materials of organic waste, is an alternative that is increasingly used in various crops, before which it is necessary to carry out an evaluation of the content of heavy metals, these they can accumulate in the soil as well as in substrates and can alter the biological balance affecting human health, being a problem that compromises food safety and public health. The objective was to determine the content of heavy metals copper (Cu), lead (Pb), nickel (Ni) and cadmium (Cd) present in raw materials (cut grass, chicken manure, peanut shells and cattle manure) in production of organic fertilizers (compost and humus) used in the association of cocoa producers Fortaleza del Valle. The samples were collected, dried and sieved, then in the laboratory they were digested with nitric acid (HNO_3) and hydrogen peroxide (H_2O_2) using method 3050B of USDPA. The heavy metals quantification was performed by ICP ICAP 7200 spectrometry under the EPA 6010C Standard. The results obtained were statistically validated and showed that the content of Cu, Pb, Ni, Cd in each of the raw materials and organic fertilizers were within the permissible limits according to what is established in the Technical Manual for registration and control of fertilizers, soil amendments and related products for agricultural use issued by AGROCALIDAD in 2020.

Keywords: metalloids; bioaccumulation; humus; compost; ICP.

Introducción

Con el paso de los años la agricultura se ha intensificado debido a la superpoblación y el alto nivel de consumo de alimentos, ante lo cual se ha elevado el uso de fertilizantes y aditivos químicos en el suelo en las últimas décadas; generando repercusiones negativas para el ambiente, como la erosión, baja fertilidad, contaminación de suelos y menor calidad en los alimentos (Castiblanco y Fuentes, 2017).

Actualmente se buscan diferentes opciones para disminuir la utilización de fertilizantes químicos, por lo que el empleo de abonos orgánicos resulta una alternativa eficaz (Castillo et al., 2017). El estiércol de diferentes orígenes, la cachaza (residuo de la industria azucarera), el humus de lombriz, la gallinaza, el guano de murciélago, los residuos de cosecha, los lodos residuales y biosólidos y los compost de diversos materiales, como los de residuales sólidos urbanos (RSU), son materiales comúnmente utilizados para elevar la fertilidad de los suelos y mejorar los rendimientos agrícolas (Rodríguez et al., 2012).

Para poder utilizar residuos agrícolas como mejoradores de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, se requiere una evaluación sistemática del contenido de metales pesados ya que pueden acumularse en los suelos y los sustratos, provocando alteración en el equilibrio biológico de los mismos y afectar el rendimiento de los cultivos y la salud humana (Ken et al., 2010).

Los metales pesados por lo general se encuentran como componentes naturales de la corteza terrestre en forma de minerales, sales u otros compuestos, no pueden ser degradados y destruidos fácilmente de forma natural y biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos (Mancilla et al., 2017). Los metales pesados a diferencia de los contaminantes orgánicos, son persistentes en la naturaleza; por lo tanto, tienden a acumularse en distintos nichos de los ecosistemas (Madera-Parra et al., 2014), afectando negativamente el crecimiento, la fotosíntesis, la biomasa y la productividad de varios cultivos y restringe la captación y translocación de elementos esenciales y nutrientes a la planta (Awan et al., 2020). La contaminación por metales pesados proviene de actividades agrícolas, mineras, generación de energía y desechos domésticos (Castillo et al., 2017).

El cobre, plomo, níquel y cadmio, son elementos que se encuentran en concentraciones bajas en el ambiente, su aumento en los ecosistemas se debe a los procesos antropogénicos, volviendo el ambiente tóxico para los seres vivos siendo un factor de riesgo para la salud humana, causando daños irreversibles (Khan et al., 2021).

El cadmio es uno de los metales traza del suelo más solubles y peligrosos, debido a su alta movilidad y que en pequeñas concentraciones tiene efectos nocivos en las plantas (Chávez et

al., 2015). Es soluble en estados oxidados y bajo condiciones de reducción precipita como sulfuro de cadmio, la disponibilidad y movilidad del cadmio en el suelo dependen del pH, humedad, materia orgánica, tipo y cantidad de arcilla (Ramakritinan et al., 2012). Puede ser absorbido por las plantas como Cd^{2+} y se encuentra en mayor cantidad en aquellas hortalizas como lechuga, espinacas y apio, que finalmente son consumidas por el hombre. Estudios en Brasil han demostrado que en plantas de frejol el cadmio se acumula en las raíces, afectando a los rizobios que participan en el proceso de fijación simbiótica de nitrógeno (Yadav, 2010). El cadmio que ingresa por vía respiratoria o por vía oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón y tiene la capacidad de acumularse en estos órganos vitales lo que produce daños irreversibles aún para concentraciones reducidas (Galán et al., 2019).

El cobre es uno de los metales traza más abundantes, es un micronutriente de gran importancia en la producción agrícola y se produce como Cu^+ y como Cu^{2+} , niveles potencialmente tóxicos de cobre en suelos están generalmente asociados con enmiendas de lodos de depuradora y con fungicidas cúpricos como las sales de cobre (Londoño et al., 2016). La toxicidad con cobre es rara en la población a nivel mundial, algunos síntomas de toxicidad aguda por cobre, pueden ser: dolor abdominal, calambres estomacales, daño hepático severo y fallo renal (Victorava y Feoktistova, 2018). La exposición aguda por ingestión del sulfato de cobre puede producir necrosis hepática y muerte (Ramakritinan et al., 2012).

El Ni es fitotóxico cuando está presente en altas concentraciones, se absorbe como catión Ni^{2+} y es transportado rápidamente a los sitios metabólicamente activos, ocasionando múltiples efectos tóxicos en el crecimiento. Naturalmente, los suelos derivados de rocas serpentinas son ricos en Ni, pero debido a diversas actividades industriales y antropogénicas, tales como la minería, la refinación de minerales de níquel, la quema de combustibles fósiles y petróleo residual, y al uso de lodos de depuradora, otras zonas también se han vuelto susceptibles a la contaminación por Ni (Hasinur et al., 2005). El níquel provoca en la salud reacciones de hipersensibilidad que se manifiestan como dermatitis y asma, así como puede ser cancerígeno para los seres humanos (Galán et al. 2019).

La contaminación de suelos por la introducción del Pb se debe principalmente a eventos relacionados a los procesos industriales como derrames, transporte, pérdidas de mermas y generación de residuos sólidos (Prasetia et al., 2017). Los efectos nocivos en la salud por la toxicidad del plomo son efectos del sistema nervioso y el desarrollo cognitivo, los riñones, reduce la producción de hemoglobina, provoca anemia y afecta el sistema reproductivo (Carvalho, 2014).

La falta de conocimiento sobre el contenido de metales pesados en las materias primas de uso en la elaboración de abonos orgánicos es de preocupación en los productores sobre todo en el sector cacaotero orgánico de la provincia de Manabí, debido a que actualmente los países desarrollados son cada vez más exigentes con sus legislaciones, es así que a partir del año 2012, la autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), emitió una alerta en donde se recomienda que las almendras de cacao debía contener un máximo de 0,3 ppm de cadmio, 30 ppm de cobre y 2 ppm de plomo (CODEX, 2014), la enmienda al reglamento Europeo No. 1881/2006, establece los niveles máximos de Cd para chocolate y productos derivados del cacao en rangos entre 0,10 a 0,80 mg·kg⁻¹ (Rivera, 2013). El objetivo fue determinar el contenido de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) presentes en las materias primas (pasto de corte, gallinaza, cáscara de maní y estiércol vacuno) en la producción de abonos orgánicos (compost y humus) utilizadas en la asociación de productores de cacao Fortaleza del Valle, ubicada en el cantón Bolívar, provincia de Manabí.

Metodología

Obtención de las muestras

Se realizó la toma muestras de cuatro materias primas (pasto de corte, gallinaza, cáscara de maní y estiércol de vacuno) y dos tipos de abono orgánico (compost y humus), tanto las materias primas como los abonos orgánicos se recolectaron del área de producción de fertilizantes y bodegas de almacenamiento de la asociación de productores de cacao Fortaleza del Valle ubicada en el cantón Bolívar de la provincia de Manabí, coordenadas geográficas 0°50'24" S y 80°10'22" O.

De cada materia prima se tomaron 16 submuestras por el método del cuarteo y se obtuvo una biomasa compuesta de 1 kg de cada una, para el muestreo de los abonos se recolectó en un balde plástico una cantidad compuesta al azar de 1 kg de cada uno según la metodología de Agrocalidad (2015), todas las muestras se empacaron en fundas ziploc con su respectiva rotulación.

Metodología utilizada en la extracción y determinación de metales pesados

Las muestras se llevaron a un horno de secado a una temperatura de 60 °C por 72 horas, posteriormente fueron trasladadas al laboratorio de Investigación de la Universidad Técnica de Manabí, a cada una de las materias primas y los abonos orgánicos, se les realizó una reducción de tamaño (molienda) y tamizaje de las mismas, luego se pesaron entre 0,3 y 0,5 g de cada una en tubos de Veseles, a cada tubo se le adicionó 3 mL de ácido nítrico (HNO₃) y 2 mL de peróxido de hidrógeno (H₂O₂) utilizando el método 3050B USDPA, posteriormente se efectuó una digestión por microondas, seguidamente las muestras se diluyeron con 6,5 mL de agua desionizada, para luego ser centrifugadas a 5000 rpm por 10 min a 25 °C, el filtrado se realizó en filtros de nylon de diámetro de 0,45 µm. La cuantificación de los metales pesados se realizó por espectrometría ICP ICAP 7200 bajo la Norma EPA 6010C.

Análisis estadístico

Todas las muestras de materias primas y abonos orgánicos se analizaron por triplicado y los resultados se procesaron usando el programa estadístico IBM Statistical Package for the Social Sciences (versión 13 for Windows, IBM Corp., Armonk, NY, USA) para comparar valores medios. Se determinó la desviación estándar, el coeficiente de variación, así como los intervalos de confianza. Se utilizó una probabilidad del 95%, para caracterizar los contenidos de metales pesados en las materias primas y abonos orgánicos.

Resultados

En las tablas 1, 2, 3, y 4 se observan las concentraciones medias obtenidas de metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) en las materias primas y los abonos orgánicos, así como la desviación estándar, el coeficiente de variación, los intervalos de confianza, con una probabilidad del 95%. Se destaca una precisión en los valores obtenidos en la lectura de las réplicas del contenido de metales pesados en las diferentes materias primas y abonos orgánicos, lo cual se vió reflejado por el grado de concordancia de los datos, expresado en términos de desviación estándar y coeficiente de variación los mismos que se encontraron dentro de los parámetros <1 de acuerdo a lo que establece el coeficiente de variación de Pearson, con los valores obtenidos en el estudio lo cual evidencia confiabilidad y veracidad en los resultados

Tabla 1. Concentraciones de cobre (Cu) en las materias primas y abonos orgánicos.

Materias primas y abonos orgánicos	Cobre (ppm)	Σ	C.V.	Intervalo de confianza
Gallinaza	0,4582	0,0223	0,0488	±0,0253
Pasto de Corte	0,4949	0,0036	0,0072	±0,0041
Estiércol vacuno	0,5256	0,0190	0,0362	±0,0215
Cascarilla de maní	0,3152	0,0181	0,0575	±0,0205
Compost	0,4557	0,0225	0,0494	±0,0255
Humus	0,4949	0,0216	0,0437	±0,0245

Abreviaturas: C.V.= coeficiente de variación, Σ= sumatoria.

Tabla 2. Concentraciones de plomo (Pb) en las materias primas y abonos orgánicos.

Materias primas y abonos orgánicos	Plomo (ppm)	Σ	C.V.	Intervalo de confianza
Gallinaza	0,2386	0,0117	0,0491	±0,0133
Pasto de Corte	0,1664	0,0083	0,0497	±0,0094
Estiércol vacuno	0,2667	0,0107	0,0403	±0,0121
Cascarilla de maní	0,3873	0,0120	0,0310	±0,0136
Compost	0,2555	0,0059	0,0232	±0,0067
Humus	0,2875	0,0143	0,0497	±0,0162

Abreviaturas: C.V.= coeficiente de variación, Σ= sumatoria.

Tabla 3. Concentraciones de níquel (Ni) en las materias primas y abonos orgánicos.

Materias primas y abonos orgánicos	Níquel (ppm)	Σ	C.V.	Intervalo de confianza
Gallinaza	1,4691	0,0653	0,0444	$\pm 0,0738$
Pasto de Corte	2,7141	0,0944	0,0348	$\pm 0,1069$
Estiércol vacuno	3,5757	0,0607	0,0170	$\pm 0,0687$
Cascarilla de maní	2,7756	0,1103	0,0397	$\pm 0,1248$
Compost	8,1100	0,2352	0,0290	$\pm 0,2661$
Humus	0,3466	0,0096	0,0278	$\pm 0,0109$

Abreviaturas: C.V.= coeficiente de variación, Σ = sumatoria.

Tabla 4. Concentraciones de cadmio (Cd), en las materias primas y abonos orgánicos.

Materias primas y abonos orgánicos	Cadmio (ppm)	Σ	C.V.	Intervalo de confianza
Gallinaza	0,3436	0,0122	0,0354	$\pm 0,0138$
Pasto de Corte	0,1848	0,0085	0,0459	$\pm 0,0096$
Estiércol vacuno	0,3335	0,0154	0,0460	$\pm 0,0174$
Cascarilla de maní	0,3876	0,0066	0,0170	$\pm 0,0075$
Compost	1,0216	0,0101	0,0099	$\pm 0,0115$
Humus	0,3349	0,0042	0,0125	$\pm 0,0047$

Abreviaturas: C.V.= coeficiente de variación, Σ = sumatoria.

Discusión

Los abonos tipo compost y humus son insumos de importancia económica en la producción orgánica; sin embargo, la presencia de metales pesados por debajo de los niveles permisibles en el tiempo podría acumularse en el suelo y ser absorbidos por los cultivos provocando riesgos en los consumidores. Las materias primas utilizadas en la elaboración de abono tipo orgánico deben tener una constante evaluación de metales pesados y así no provocar toxicidad en la cadena trófica.

Cadmio

Los valores obtenidos para el contenido de cadmio en las diferentes materias primas y abonos orgánicos se encontraron dentro de los límites permisibles, de acuerdo a lo que se establece en el manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola emitido por AGROCALIDAD en el 2020 (1,5 ppm); en la Norma Global EPA (3,00 ppm) y en el reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo del 5 de junio de 2019 (1,5 ppm). En un estudio realizado por Apaza-Condori et al. (2015)

se determinó que el contenido de cadmio en compost de residuos de coca osciló entre 1,17 y 1,25 ppm, en otro estudio realizado en compostaje por Contreras et al. (2020) se encontraron valores de cadmio de 1,46 ppm, ambos resultados son superiores a los que se han reportado en el presente estudio y Basantes (2018) reportó en gallinaza valores de 0,13 ppm y en estiércol vacuno de 0,06 ppm. Se podría atribuir que un nivel superior de cadmio en el compost a diferencia de las materias primas puede deberse a su materia orgánica, debido a la formación de compuestos minerales insolubles, como los carbonatos, óxidos, entre otros. La presencia de cadmio, aunque sea en bajas concentraciones puede ser causada por las actividades antropogénicas, pero podría ir en ascenso convirtiéndose en una problemática de bioacumulación en la cadena trófica hasta llegar al ser humano (Apaza-Condori et al., 2015).

Plomo

El resultado de las concentraciones de plomo en las diferentes materias primas se encontraron dentro de los límites permisibles de acuerdo a lo que se establece en el Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola emitido por AGROCALIDAD, en el 2020, donde el límite máximo fue de 120 ppm, igualmente de acuerdo a la Norma Global EPA que fue de 150 ppm y del reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo del 5 de junio de 2019 que estableció un máximo permisible de 120 ppm. En un estudio realizado por Carrero (2016) se encontraron niveles de plomo en diversas materias primas y compost que oscilaron desde 3,96 ppm hasta 12,18 ppm valores superiores a los determinados en el presente trabajo, de igual manera Rodríguez et al. (2012) encontró niveles superiores a los permisibles en abonos orgánicos. Pérez et al. (2010) en compost obtuvo valores de plomo de 0,27 ppm valores inferiores a los máximos permitidos. Basantes (2018) en gallinaza reportó valores de plomo de 1,24 ppm, un valor superior a los que se encontraron en el presente estudio, pero aun así se encontró dentro de los valores permisibles. Aun cuando este metal pesado se encontró en concentraciones bajas la acumulación del mismo inhibió o activó algunos procesos enzimáticos que afectaron la productividad dando como resultado una posible vía de entrada del plomo en la cadena alimenticia (Coyago y Bonilla, 2016).

Níquel

El contenido de níquel que se registró en cada una de las muestras se encontró dentro de los límites permisibles de acuerdo al Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola emitido por AGROCALIDAD en el 2020 (50 ppm); a la Norma Global EPA que fue de 60 ppm, del reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo del 5 de junio de 2019 que estableció un máximo de 50 ppm, todas las muestras

presentaron valores entre 0,3466 ppm en el humus y 8,11 ppm en el compost. Estos valores fueron relativamente bajos a los valores encontrados por Apaza-Condori et al. (2015) donde el contenido de níquel en compost de residuos de coca que osciló en 12 ppm y en el estudio realizado por Contreras et al. (2020) se encontraron valores para compost de 14,5 ppm. Entre tanto, en una investigación realizada por Pérez et al. (2010) en compost se obtuvieron valores de níquel de 6,60 ppm que estuvieron dentro de los rangos permitidos. La presencia de níquel en las materias primas y abonos orgánicos puede ser debido a que estos metales pesados suelen estar presente en la red cristalina de minerales primarios y secundarios tales como carbonatos, sulfatos y óxidos (Kennou, et al., 2015).

Cobre

Los valores de cobre que se obtuvieron en este estudio estuvieron dentro de los parámetros establecidos por el reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo del 5 de junio de 2019 que estableció un máximo permisible de 300 ppm. En estudios realizados por Apaza-Condori et al. (2015) en compost de residuos de coca se determinaron valores de cobre de 30,33 ppm superiores a los encontrados en este estudio, de igual manera en un estudio realizado por Basantes (2018) se encontraron valores de cobre en gallinaza de 38,53 ppm y en estiércol vacuno de 23,70 ppm, ambos valores fueron superiores a los que se encontraron en estas materias primas en la presente investigación. Ansorena et al. (2014) detectó algunos casos de niveles elevados de Cu en compost, que pueden ser explicados por causas naturales o por la aplicación de productos que contienen dichos metales que van provocando que este metal pesado se acumule.

Los metales pesados (Cu, Pb, Ni, Cd) pueden ser potencialmente peligrosos; sin embargo, en las muestras analizadas de materias primas y abonos orgánicos no estuvieron presentes en concentraciones que pudiesen limitar su uso en ninguna de las fracciones evaluadas, lo que es beneficioso para que puedan ser aplicados al suelo sin que esto causen efectos indeseables.

Conclusiones

Se puede concluir que tanto las materias primas y los abonos de interés, en la actualidad cumplen con los criterios mínimos establecidos de metales pesados para Cu, Pb, Ni, Cd, según las diferentes normativas vigentes por lo que no constituyen riesgo de contaminación para plantas y animales.

Es recomendable realizar estudios posteriores más profundos ya que aun cuando los resultados mostraron niveles dentro de los límites permisibles de metales pesados, es importante determinar cómo están unidos los metales a las especies químicas (materia orgánica y sulfuros) para conocer su biodisponibilidad.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de interés en la presente publicación en ninguna de sus fases.

Referencias bibliográficas

Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD). (2015). Laboratorio de suelos,

foliares y aguas: Instructivo para toma de muestras de foliares. Quito, Ecuador. 9 p.

Agencia Ecuatoriana de Aseguramiento de la Calidad del Agro (AGROCALIDAD). (2020). *Manual técnico para el registro y control de fertilizantes, enmiendas de suelo y productos afines de uso agrícola*. Quito, Ecuador.

Apaza-Condori, E., Mamani-Pati, F. y Sainz-Mendoza, H. (2015). Evaluación de metales pesados en el proceso de compostaje orgánico de residuos de hojas de coca. *Journal of the Selva Andina Biosphere*, 3(2), 95-102.

Ansorena, J., Batalla, E. y Merino, D. (2014). *Evaluación de la calidad y usos del compost como componente de sustratos, enmiendas y abonos orgánicos*. Escuela Agraria Fraisoro. 69 p.

Awan, S., Ilyas, N., Khan, I., Raza, M., Rehman, A., Rizwan, M., Rastogi, A., Tariq, R. y Brestic, M. (2020). *Bacillus siamensis* reduce la acumulación de cadmio y mejora el crecimiento y el sistema de defensa antioxidante en dos variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Plants*, 9, 878.

Basantes, C. (2018). *Co-Compostaje de residuos vegetales provenientes de la finca agropecuaria la immaculada con estiércol de cuy, vaca y gallinaza*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba, Ecuador.

Carrero, L. J. (2016). *Implementación del método analítico para la determinación del contenido total de cromo (Cr), cadmio (Cd), plomo (Pb) y níquel (Ni) en muestras de compost de diferente procedencia*. Universidad Santo Tomás. Bucaramanga, Colombia.

Carvalho, S. (2011) *Productos químicos y género*. http://www.undp.org/content/dam/undp/library/EnvironmentandEnergy/chemicals_management/ChemicalGender_Spanish_WEB.pdf

Castiblanco, C. X. y Fuentes, O. (2017). *Implementación del método analítico para la determinación del contenido total de potasio (K), magnesio (Mg) y sodio (Na) en muestras de abono orgánico mediante espectrofotometría de absorción atómica según la norma técnica colombiana NTC 5167*. Universidad Santo Tomás. Bucaramanga, Colombia.

Castillo, M., Mendoza, J., Arriola, J., Pérez, G., Vega, M., Ortiz, M. y López, J. (2017). Crecimiento de biopelículas de *Pseudomonas* en presencia de metales pesados. *Rev. Latinoamericana el Ambiente y la Ciencia*, 8, 75-82.

Codex Alimentarius (CODEX). (2014). *Ante proyecto de niveles máximos para el cadmio en el chocolate y productos derivados de cacao*. FAO. Roma, Italia. 20 p.

Contreras, A., Monroy, J., Ramírez, L. y Cuellar, L. (2020). *Compostaje una alternativa sostenible para obtención de biosólidos*. Gestión de residuos y biomasa: avances en la economía circular. Universidad Santo Tomás. Bucaramanga, Colombia.

Coyago, E. y Bonilla, S. (2016). Absorción de plomo de suelos altamente contaminados en especies vegetativas usadas para consumo animal y humano. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 23(1), 35-46.

- Galán, E., Romero-Baen, A., Aparicio, P. y González, I. (2019). Un enfoque metodológico para la evaluación de la contaminación del suelo por oligoelementos potencialmente tóxicos. *Journal of Geochemical Exploration*, 203, 96-107.
- Hasinur, R., Shamima, S., Shah, A. and Shigenao, K. W. (2005). Effects of nickel on growth and composition of metal micronutrients in barley plants grown in nutrient solution. *J. Plant Nutr.*, 28, 393-404.
- Khan, I., Afzal-Awan, S., Muhammad, R., Shafaqat, A., Muhammad, H., Marian, B., Xinquan, Z. and Linkai, H. (2021). Effects of silicon on heavy metal uptake at the soil-plant interphase: A review. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 222, 1-15.
- Ken, E. G., Ernst, W. and Steve, P. M. (2010). Heavy metals and soil microbes. *Soil Biol. Biochem.*, 5, 1-7.
- Kennou, B., El Meray, M., Romane, A. y Arjouni, Y. (2015). Assessment of heavy metal availability (Pb, Cu, Cr, Cd, Zn) and speciation in contaminated soils and sediment of discharge by sequential extraction. *Environmental Earth Sciences*, 74(7), 5849-5858.
- Parra, C., Peña-Salamanca, E. y Solarte-Soto, J. (2014). Efecto de la concentración de metales pesados en la respuesta fisiológica y capacidad de acumulación de metales de tres especies vegetales tropicales empleadas en la fitorremediación de lixiviados provenientes de rellenos sanitarios. *Ingeniería y Competitividad*, 16(2), 179-188.
- Londoño-Franco, L. F., Londoño-Muñoz, P. T. y Muñoz-García, F. G. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145-153.
- Mancilla Villa, O. R., Fregoso Zamorano, B. E., Hueso Guerrero, E. J., Guevara Gutiérrez, R. D., Palomera García, C., Olguín López, J. L. y Flores Magdaleno, H. (2017). Concentración iónica y metales pesados en el agua de riego de la cuenca del río Ayuquila-Tuxcacuesco-Armería. *Idesia*, 35(3), 115-123.
- Prasertia, H., Sakakibara, M. and Takehara, A. (2017). Heavy metals accumulation by *Athyrium yokoscense* in a mine area, Southwestern Japan. In: Conf. Series: *Earth and Environmental Science*, 71, 012025.
- Pérez, R., Pérez, A. y Vertel, M. (2010). Caracterización nutricional, fisicoquímica y microbiológica de tres abonos orgánicos para uso en agroecosistemas de pasturas en la subregión Sabanas del departamento de Sucre, Colombia. *Revista Tumbaga*, 5, 27-37.
- Ramakritinan, C., Chandurvelan, R. and Kumaraguru, A. (2012). Acute toxicity of metals: Cu, Pb, Cd, Hg and Zn on marine mollusks *Cerithidia cingulata* G., and *Modiolus philippinarum* H. *Indian Journal of Geo-Marine Sciences*, 2(1), 141-145.
- Reglamento UE 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo de 5 de junio de 2019. (2019). *Diario oficial de la Unión Europea*.
- Reyes, Y. C., Vergara, I., Torres, O. E., Díaz-Lagos, M. y González, E. E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. *Revista Ingeniería Investigación y Desarrollo*, 16(2), 66-77.
- Rivera, S. (2013). *Guía de métodos de detección y análisis de Cadmio en cacao (Theobroma cacao L.)*. DEVIDA. Lima, Perú. 47 p.
- Rodríguez Alfaro, M., Muñiz Ugarte, O., Calero Martín, B., Martínez Rodríguez, F., Montero Álvarez, A., Limeres Jiménez, T. y de Aguilar Accioly, A. M. (2012). Contenido de metales pesados en abonos orgánicos, sustratos y plantas cultivadas en organopónicos. *Cultivos Tropicales*, 33(2), 5-12.
- Victorava, F. y Feoktistova, Y. (2018). El metabolismo del cobre. Sus consecuencias para la salud humana. *Medisur*, 6(4), 579-587.
- Yadav, S. K. (2010). Heavy metals toxicity in plants: An overview on the role of glutathione and phytochelatin in heavy metal stress tolerance of plants. *South African Journal of Botany*, 76(2), 167-179.

Contribución de los autores

Autores	Contribución
Juan Pablo Dueñas-Rivadeneira	Diseño de la investigación; revisión bibliográfica, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito.
Fran Guillermo Intriago Flor	Interpretación de los datos y revisión del contenido del manuscrito y corrección de estilo.