

Remoción selectiva de plomo presente en relaves mineros utilizando nanodendímeros de humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros

Selective removal of lead present in tailings using nanodendimers of humus, compost, humic acids and fulvic acids pure

Félix Huaranga Moreno

Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, PERÚ
rhuaran@gmail.com // <https://orcid.org/0000-0002-3557-0690>

Josué Ricardo Arteaga Núñez

Laboratorio de Ecología, Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo, PERÚ
josue_science@hotmail.es // <https://orcid.org/0000-0003-1193-9761>

Félix Huaranga Arévalo

Consultor en Recursos Hídricos, Trujillo, PERÚ
ricardo_huaranga@hotmail.com // <https://orcid.org/0000-0002-7445-9696>

Resumen

Los relaves mineros son la principal fuente de contaminación de los recursos hídricos debido a la presencia de metales pesados, que impactan sobre los sistemas ecológicos y en la salud humana; por lo que es de necesidad urgente la implementación de técnicas innovadoras que ayuden a mitigar el impacto generado por estos contaminantes, como es el caso del plomo; de allí que el objetivo de la presente investigación fue la de evaluar la capacidad de remoción selectiva del plomo presente en relaves mineros utilizando nanodendímeros de humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros. Se implementó un sistema de humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos, para filtrar una solución de 200 ppm de plomo obtenida a partir de una muestra de relave minero de la zona de Samne (Región La Libertad, Perú) que contenía 3399 ppm de plomo. Luego, se determinó la concentración de Pb en el filtrado de cada sistema mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica. Mediante este análisis se obtuvo como resultado que el Pb fue removido por los nanodendímeros presentes en la estructura química de los materiales orgánicos utilizados, concluyéndose que la mayor capacidad de remoción de Pb fue realizado por los ácidos húmicos puros con 93,35% y fúlvicos con 44,85%, mientras que la menor remoción estuvo representado por el humus con (9,20%) y compost (6,35%).

Palabras clave: Remoción selectiva, Complejamiento, Plomo, Nanodendímeros

Abstract

Mining tailings are the main source of contamination of water resources due to the presence of heavy metals, which impact ecological systems and human health; Therefore, the implementation of innovative techniques that help mitigate the impact generated by these pollutants, such as lead, is urgently needed; Hence, the objective of this research was to evaluate the selective removal capacity of lead present in mining tailings using nanodendimers of humus, compost, humic acids and pure fulvic acids. A system of humus, compost, humic acids and fulvic acids was implemented to filter a solution of 200 ppm of lead obtained from a sample of mining tailings from the Samne area (La Libertad Region, Peru) that contained 3399 ppm of lead. lead. Then, the concentration of Pb in the filtrate of each system was determined using the atomic absorption spectrophotometry technique. Through this analysis, it was obtained as a result that Pb was removed by the nanodendimers present in the chemical structure of the organic materials used, concluding that the highest Pb removal capacity was performed by pure humic acids with 93,35% and fulvic acids with 44,85%, while the lowest removal was represented by humus with (9.20%) and compost (6.35%).

Keywords: Selective removal, Complexation, Lead, Nanodendimers

Citación: Huaranga, F.; J. Arteaga & F. Huaranga. 2022. Remoción selectiva de plomo presente en relaves mineros utilizando nanodendímeros de humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros. *Arnaldoa* 29(3): 439-450 doi:<http://doi.org/10.22497/arnaldoa.293.29305>.

Introducción

Existe actualmente un panorama de amplia preocupación en el ámbito internacional sobre la gravedad que han alcanzado los diversos tipos de problemas ambientales que aquejan al planeta, como es el caso de la contaminación por residuos sólidos, líquidos y gaseosos que se descargan al suelo, la atmósfera y cuerpos de agua; entre

los que se pueden mencionar a los relaves mineros (Toledo & Argueta, 1993; Azcurra, 2018; Gmochowska *et al.*, 2019; Jiang *et al.*, 2019).

La minería cumple un rol fundamental en la economía de los países del mundo, dentro de los que se encuentran el Perú y constituye un gran factor de desarrollo. En nuestro país es el primer proveedor de di-

visas aportando hoy con más del 60% del total de nuestros ingresos por exportaciones; no obstante, es también un alto generador de residuos provenientes del procesamiento de los minerales, los cuales, si no son adecuadamente manejados, tienen el potencial de generar impactos ambientales que podrían permanecer mucho tiempo después del cierre de las operaciones; en particular, los relaves y desmontes de mina, los que pueden contener sulfuros metálicos que, al quedar expuestos al oxígeno de la atmósfera, son oxidados generando drenajes ácidos, metales en solución como el plomo, iniciando una fuente de contaminación que luego es muy difícil y costoso controlar (Andía & Lagos, 2000; Chowdhury *et al.*, 2018; Chen, *et al.*, 2020; Zhao *et al.*, 2020).

En la eliminación de contaminantes metálicos se han aplicado tanto métodos físicos como, químicos; sin embargo, todos ellos presentan ciertas desventajas, entre ellas su alta relación costo-efectividad, la generación de subproductos peligrosos o su ineficiencia cuando la concentración de metales en los entornos contaminados está por debajo de 100 ppm (Gavrilescu, 2004). Actualmente, los metales pesados están entre los contaminantes más tóxicos que contienen los residuos mineros, lo que han llegado a ser un problema severo para la salud pública (Demirbas, 2004; Galán *et al.*, 2019).

Existe un gran número de tratamientos a los que se pueden someter los residuos de relaves mineros, cuya finalidad se dirige básicamente a la recuperación de recursos (materiales y energéticos), la detoxificación, y la reducción de volumen de los contaminantes previa a su disposición final, usando para ello la remoción de metales pesados contenido en la solución de relave (Vijayaraghavan & Yun, 2008).

Uno de los métodos más innovadores

desarrollados en los últimos años es la aplicación de nanopartículas metálicas. La nanotecnología se centra en el estudio, diseño, síntesis, y aplicación de materiales, equipos y sistemas funcionales, mediante el control y el aprovechamiento de las propiedades de la materia a diversas nanoescalas (Chávez, 2018; Lira *et al.*, 2018; Toala, 2019; Mandrikas *et al.*, 2020; Asmat *et al.*, 2021).

Asimismo, la materia orgánica que contiene humus y compost de acuerdo a su composición química son materiales prometedores para el uso como soportes para los denominados nanomateriales, los que son moléculas con alta afinidad electrónica como los llamados dendímeros quienes poseen en su estructura química los grupos OH, COOH y NH₂ (Amrit, 2011).

Bendeck, 2012, reporta que los máximos componentes de la materia orgánica en la naturaleza están representados por el humus y compost, los que puede presentar entre el 60 y 90% del carbono total de esta. El humus convencionalmente se ha dividido en sustancias no húmicas y sustancias húmicas. Las sustancias no húmicas pueden representar hasta el 30% del humus y están constituidos por compuestos orgánicos químicamente definidos, como son lignina, celulosa, proteínas, carbohidratos, grasas, ácidos orgánicos y pigmentos. Las sustancias húmicas representan el máximo constituyente la fracción más representativa y más estable del carbono del suelo, y pueden llegar a constituir hasta un 90% del carbono total del suelo. En el caso del humus y el compost a través del proceso de intercambio catiónico que poseen sus grupos químicos representados por los dendímeros antes mencionados a nivel de las micelas coloidales, permite absorber cationes como los metales pesados presentes en relaves mineros

Farha *et al.* (2009), afirma que mediante

el intercambio iónico se remueve iones no deseados de una solución acuosa a partir de un material sólido llamado intercambiador de iones. El intercambio es estequiométrico porque acepta iones mientras devuelve un número equivalente de radicales libres almacenadas en la matriz del intercambiador iónico, debido a que la matriz comúnmente es un polímero poroso impregnado con grupos funcionales.

En este contexto a nivel internacional pueden mencionarse los estudios realizados por Probal *et al.* (2009), quienes determinaron que los nanodendímeros permiten un control preciso del tamaño, forma y ubicación de los grupos funcionales lo que es de sumo interés para muchas aplicaciones de las ciencias de la vida.

Asimismo, Grassian (2008), sostiene que los nanodendímeros de poliamidoamina (PAMAM) consisten en monómeros de amidoamina que se expanden desde un núcleo central. Por otro lado, afirma que los nanodendímeros de generación completa tienen grupos hidroxilo o amino en sus superficies, mientras que los de generación media tienen grupos carboxilo. En este caso, los dendímeros tienen cavidades internas vacías y muchos grupos terminales funcionales, los mismos que les confieren reactividad y elevada solubilidad. Esto se debe a que la reactividad química de un material depende de su área superficial, la cual aumenta mientras el tamaño de la partícula disminuye las interacciones entre los metales.

Hoek & Agarwa, 2006, plantean que los nanodendímeros pueden ser descritos mediante la teoría de estabilidad coloidal de Derjaguin-Landau-Verwey-Overbeek (DLVO) que explica la interacción partícula-sustrato en medio acuoso. Esta teoría considera las interacciones de las fuerzas atractivas de Van der Waals y las interac-

ciones electrostáticas repulsivas de la doble capa. Shcarbin, 2007, en relación a los nanodendímeros determinó que pueden servir como contenedores para metales pesados, demostrando que los PAMAM (dendímeros catiónicos), pueden unirse a varios iones metálicos (Cu, Zn, Ni, Pb), hecho que tiene importancia biológica; así como, clases especiales de nanodendímeros con altas constantes de enlazamiento los que han sido propuestos para la protección ambiental sirviendo como quelantes reciclables.

Toala, 2019, en su trabajo de investigación sobre nanopartículas magnéticas de hierro demostró la efectividad de usar este tipo de nanopartículas en la eliminación de fósforo de muestras de agua extraídas de la Laguna de San Antonio de Padua (Chimborazo - Riobamba), con un estado trófico alto.

En nuestro país sobresalen los estudios sobre nanopartículas de Asmat *et al.*, 2021, quienes sintetizaron nanopartículas de óxido de hierro (NP FeO) usando el método de química verde, a partir de extracto en solvente alcohólico 96% de eucalipto (*Eucalyptus globulus*). El mecanismo de formación de nanopartículas fueron evaluada por FTIR lo que les permitió verificar parcialmente que los grupos correspondientes a los compuestos aromáticos y alifáticos estarían implicados en el proceso de formación de NP FeO. Luego, las nanopartículas mencionadas fueron aplicadas a muestras de suelo agrícola contaminadas con metales pesados (Cr, Cd y Pb), con el objetivo de evaluar el potencial efecto de remoción de contaminantes metálicos, los resultados sugieren la remoción definitiva del Cr y Cd.

La presente investigación se planteó debido a que la contaminación por relaves mineros es una de las problemáticas de primer orden en nuestro país, el cual está generando un impacto drástico en ríos, la-

gos y lagunas, así como en terrenos de cultivo de los principales valles agrícolas del Perú, como es el caso de la cuenca del río Moche, en la región La Libertad-Perú. Por lo que esta investigación estuvo orientada a encontrar una alternativa innovadora para mitigar el impacto ambiental causado por metales pesados como lo es el plomo, el que se encuentra en niveles altos de concentración en las relaveras y suelos agrícolas del valle de Moche. De allí, que el objetivo de la presente investigación fue determinar la capacidad de remoción selectiva de Plomo presente en relaves mineros utilizando nanodendímeros de humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros.

Material y métodos

Para la realización de la presente investigación se utilizó material de relave de las relaveras de Samne, distrito de Samne, Provincia de Otuzco, región La Libertad. Asimismo, se obtuvo muestras de compost y humus provenientes de la unidad de compostera y lombricultura del campo experimental de ecología de la Universidad Nacional de Trujillo, Perú; los ácidos húmicos y fúlvicos puros fueron adquiridos de la empresa Agromen Group S.A.C. En el material de relave minero se determinó la concentración de metales pesados utilizando la espectrometría de absorción atómica siguiendo el protocolo de Duglas *et al.* (1997), como resultado del cual se seleccionó al plomo por ser el metal pesado de mayor concentración (3399 ppm). A continuación, se pulverizó la muestra de relave utilizando un mortero de porcelana, se pesó 58,84 g y se preparó la solución patrón de 200 ppm de Pb.

La remoción selectiva de plomo determinada por el compost, humus, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros se realizó siguiendo la técnica propuesta por Peñaherrera (2010) por lo cual, se diseñó un

sistema de reacción que contenía 70 ml de solución relave, 86 g de humus y compost previamente tamizado y 30 ml de ácidos fúlvicos y ácidos húmicos puros agregados a un contenedor de esponja de dunlopillo. Se estableció un tiempo de 24 horas de reacción, para luego proceder a la filtración de la solución final.

Para cuantificar el plomo presente en el filtrado de cada sistema, se realizó el análisis químico cuantitativo utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin Elmer 601, siguiendo el protocolo antes mencionado para el análisis de metales pesados.

Resultados

Los resultados del análisis químico cuantitativo nos confirma la remoción selectiva de plomo (Pb) en cada sistema cuyos resultados se observan en la Tabla 1, así se puede observar que la concentración promedio de Pb en el sistema compost es la menor (12,70 ppm) en comparación con el humus (18,40 ppm), ácidos húmicos (186,70 ppm) y ácidos fúlvicos (89,70 ppm). Porcentualmente, el mayor porcentaje de remoción de Pb, correspondió a los ácidos húmicos puros con 93,35% y fúlvicos con 44,85%; mientras que los menores porcentajes estuvieron representados por el humus con 9,20% y compost con 6,35% (Tabla 2).

En la Figura 1, se puede observar con mayor claridad los resultados obtenidos por cada repetición en todos los sistemas implementados.

En la Tabla 3, se muestran los resultados del análisis de varianza con un nivel de confianza del 95%, observándose que existen diferencias significativas en los sistemas experimentales, dado que el $F_c > F_t$.

Discusión

Los resultados de los análisis nos muestran que la remoción selectiva en todos los sistemas implementados demuestran una diferencia entre los materiales orgánicos como el humus y compost y los materiales puros representados por los ácidos húmicos y fúlvicos, y en donde los ácidos húmicos superan el 90% de efectividad, hecho que concuerda con las investigaciones realizadas por Xu y Zhao, (2005) quienes reportan que los dendímeros orgánicos de Poliamidoamina (PAMAM) pueden eliminar eficazmente cobre y plomo de suelos contaminados obteniendo más del 90% de metales pesados removidos utilizando diferentes concentraciones de nanodendímeros.

Asimismo, Peñaherrera (2010) encontró que los nanodendímeros de poliamidoamina pueden remover eficazmente níquel con una eficiencia de 87,42% aplicando nanodendímeros orgánicos de PAMAM G4.5-COOH, similares a los encontrados para el caso del humus en la presente investigación. Por otro lado, Zhao & SenGupta (2000) demostraron que los nanodendímeros orgánicos como los presentes en la química del humus, compost, ácidos húmicos y fúlvicos respectivamente, pueden ser vistos como ligandos multidentados multifuncionales, que contienen átomos donadores en el interior de la macromolécula, así como también grupos funcionales terminales como COOH, NH₂ y OH; por lo que, la captura de metales pesados como el plomo por los nanodendímeros puede estar relacionada con el grado de complejamiento con átomos donadores externos, complejamiento con átomos donadores internos, como el nitrógeno y el oxígeno, interacción electrostática con grupos terminales cargados y otras interacciones no específicas como la encapsulación física en las cavidades internas, inte-

racciones con carga contraria atrapados en el interior de la macromolécula o con moléculas de agua.

Los resultados encontrados por Zhao & SenGupta y en la presente investigación, guardan relación con lo determinado por Harris (1992), quien afirma que los nanodendímeros tienen varios grupos donadores de electrones capaces de formar numerosos enlaces covalentes con iones metálicos, como el plomo, que es un ácido de Lewis, puesto que pueden compartir pares de electrones cedidos por los ligandos, los cuales en consecuencia se comportan como bases de Lewis.

De igual modo, Varanini *et al.* (1995) determinaron que los ácidos húmicos poseen un polímero de estructura muy compleja con grupos funcionales tipo oxigenado, como carboxilos, alcoholes, hidroxilos fenólicos y carbonilos; además, de la presencia de grupos nitrogenados como las aminas y amidas, lo que explica los resultados obtenidos en la presente investigación. Similares resultados fueron encontrados por Stevenson, (1994), quien suma en su investigación otros grupos funcionales como los éteres, hidroxiquinonas y lactonas.

Schnitzer (1990) y Stevenson (1994) en relación con los ácidos fúlvicos, identificaron que estos contienen un mayor número de grupos funcionales de carácter ácido respecto a los ácidos húmicos, particularmente carboxilos y fenoles; además en los ácidos húmicos la mayor parte del oxígeno se encuentra formando parte del núcleo o estructura central, en uniones éter o éster, mientras que, para los ácidos fúlvicos estos están como COOH, OH ó C=O, aunque estos datos muestran cierta variabilidad, ya que los ácidos fúlvicos presentan mayor acidez total que los húmicos, debido a esa mayor presencia de grupos carboxilo e hidroxilo.

Demirbas (2004) trabajando con los iones metálicos tóxicos (Pb (II) y Cd (II)) sobre lignina modificada de maderas de haya y álamo mediante deslignificación con glicerol alcalino, encuentra que las adsorciones sobre el material experimentado a pesar de los bajos valores presenta una buena capacidad de adsorción y donde los datos de adsorción siguen el modelo de Langmuir, con capacidades máximas de adsorción de 8,2 a 9,0 y de 6,7 a 7,5 mg/g de lignina modificada para Pb (II) y Cd (II), respectivamente; resultados que coinciden con los encontrados para humus y compost en la presente investigación.

Comparativamente, en relación a los resultados obtenidos para el humus (9,20%) y compost (6,35%) estos también tienen una relación con los resultados obtenidos por Asmat *et al.* (2021), en su estudio sobre suelos contaminados del valle de Moche-Perú por los metales pesados Cr, Cd y Pb utilizando nanopartículas de FeO, y en donde utilizando 5, 10 y 15 ml de la solución de FeOs se removieron el 100% de los metales pesados Cr y Cd, en cambio solo se removió el 12% de Pb.

Para mejorar la tendencia de adsorción, Cruz *et al.* 2018, en relación con este tipo de remoción de metales pesados, experimentaron el uso de ácidos orgánicos como elementos que ayudan a mejorar la eficiencia de absorción, y en donde con el tratamiento con ácido cítrico y tartárico 10 mM se logra acumular en el suelo la mayor cantidad de Plomo, Talio y Vanadio biodisponibles los que estarán a disposición de las plantas para su acumulación a nivel de raíz, tallo y hojas.

En forma similar para este tipo de resultados como el caso del humus, compost, ácidos fúlvicos y el de FeO en relación con el Pb, Liu *et al.* (2018), sugieren la utilización

de ácidos orgánicos como agentes quelantes que ayuden en la migración de Pb en suelos provenientes de la contaminación minera; en la misma dirección, Chen *et al.* 2020, recomiendan sustancias quelantes naturales como es el caso de los ácidos orgánicos de bajo peso molecular, como el ácido cítrico, ácido tartárico, málico y el ácido oxálico. Son biodegradables y respetuosos con el medio ambiente y se considera que tienen un gran potencial de aplicación en la fitorremediación de suelos contaminados con metales pesados.

Asimismo, Yongyang *et al.* 2022, utilizando los ácidos orgánicos cítrico y málico como agentes quelantes encontraron un aumento en la remoción de Pb en el orden de 36,57% para el ácido cítrico y de 34,66% para el ácido málico, información que podría ser utilizada para complementar la remoción selectiva de Pb no solo del humus y compost, sino en asociación con los ácidos fúlvicos puros, hecho que podría remover hasta el 50% y el 80%, lo que ayudaría en la recuperación y la gestión de la contaminación por metales pesados en áreas mineras.

Conclusiones

Utilizando los nanodendímeros de humus (9,20%) y ácidos húmicos (93,35%) se logró la mayor capacidad de remoción selectiva de plomo en relación al compost (6,35%) y ácidos fúlvicos (44,85%).

Debido a la capacidad de interacción diferencial del humus, compost y ácidos fúlvicos en la remoción de Pb, se recomienda el uso de los ácidos orgánicos como el cítrico, oxálico, tartárico y málico como agentes quelantes que ayudarían a aumentar la efectividad de los materiales orgánicos experimentados.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Trujillo, al Laboratorio de Ecología y Medio Ambiente, por financiar parte de la presente investigación a través del Fondo de Cooperación del CIAT de Colombia, a Eduardo Méndez, por sus comentarios a lo largo de la ejecución de la investigación y a José Avalos por la revisión del manuscrito.

Contribución de los autores

F. H., J. A., & F. H: Los autores realizaron las actividades de obtención del material biológico, experimentación, la redacción del manuscrito y aprobación del mismo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Literatura citada

- Amrit, P.** 2011. Liquid crystalline dendrimer: Towards intelligent functional materials. Girijananda Chowdhuri Institute of Management & Technology, Hatkhowapara Azara, Guwahati-17, Assam, India: 95-124.
- Asmat, D.; K. Andrade; Y. Chacon; A. Henriquez & F. Iparraguirre.** 2021. Síntesis ecológica de nanopartículas de FeO y su aplicación en la remoción de metales pesados Presentes en suelo agrícola. 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Prospective and trends in technology and skills for sustainable social development. Leveraging emerging technologies to construct the future”, Buenos Aires -Argentina, July 21-23. 6 pp.
- Andía, M. & G. Lagos.** 2000. Costos de Cierre Tranques de Relave en Cordillera, Disponible en Internet: <http://www.cipma.cl/hyperforum/informe-tranques-Nov.doc>.
- Bendeck, M.** 2012. Origen y formación del humus. AGRILAB. Published online,disponibleen: <http://blogcdam.minam.gob.pe/wpcontent/uploads/2012/03/Contaminaci%C3%B3n-ambiental-origen-clases-fuentes-y-efectos.pdf>.
- Cruz, C.; S. Ramos & S. Lopez.** 2018. Efecto de la adición de ácidos orgánicos sobre la bioacumulación de Plomo, Talio y Vanadio en *Chrysopogon zizanioides* creciendo sobre suelos contaminados de un relleno sanitario. Nova Scientia. Vol.10 (21):403-422.
- Chávez, G.** 2018. Nonatecnología una alternativa para el tratamiento de aguas residuales: Avances, ventajas y desventajas. Journal of the Selva Andina Research Society. Vol (9):52-61.
- Chen, L.; J. Yang & D. Wang.** 2020. Fitorremediación de Suelos Contaminados con Uranio y Cadmio por Girasol Mejorado con Agentes Quelantes Biodegradables. J. Limpio. Pinchar. 263, 121491.
- Chowdhury, R.; A. Datta & D. Sarkar.** 2018. Contaminación y Remediación de Metales Pesados. Química verde: un enfoque inclusivo. Edit. Elsevier: 359-373.
- Demirbas, A.** 2004. Adsorption of lead and cadmium ions in aqueous solution on to modified lignin from alkali glycerol delignification. Journal of Hazardous Materials. Vol. 109 (1-3):221-226.
- Douglas, A.; M. Donald & F. James.** 1997. Fundamentos de química analítica. Reverte, Vol(2).
- Farha, A.; A. Aal; I. Ashour & S. Garamon.** 2009. Removal of some heavy metal cations by synthetic resin purolite C100. Journal of Hazardous Materials: 190-194.
- Galán, E.; A. Romero; P. Aparicio & I. González.** 2019. A methodological approach for the evaluation of soil pollution by potentially toxic trace elements. J. Geochemical Explor. Vol. (203): 96-107.
- Gavrilescu, M.** 2004. Removal of heavy metals from the environment by biosorption. Engineering in Life Sciences. Vol.(4): 219-232.
- Grassian, V.** 2008. Nanoscience and nanotechnology environmental and health impacts. New Jersey: Wiley John Wiley & Sons, Inc, Publication.
- Gmochowska, W.; A. Pietranic & R. Tyszca.** 2019. Sources of pollution and distribution of Pb, Cd and Hg in Wroclaw soils: Insight from chemical and Pb isotope composition, Chemie der Erde, Vol. 79 (39): 434-445.
- Harris, D.** 1992. Análisis químico cuantitativo. México D.F: Grupo Editorial Iberoamericana.
- Hoek, E. & G. Agarwal.** 2006. Extended interactions between spherical particles and rough surfaces. Journal of Colloid and Interface Science: 50-58.

- Jiang, R.; M. Wang; W. Chen; X. Li; M. Balseiro & P. Baveye.** 2019. Ecological risk of combined pollution on soil ecosystem functions: Insight from the functional sensitivity and stability. *Environ. Pollut.* Vol. (255).
- Lira, R.; B. Méndez; G. De lo Santos & I. Vera.** 2018. Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta Universitaria.* Vol. 28 (2): 9 – 24.
- Liu, G.; J. Ren; G. Hu; S. Qin & C. Fan.** 2018. Efectos de los Ácidos Orgánicos de Bajo Molecular en la Eliminación de Pb, Cd en Suelos Calcáreos. *Hubei Agric. Ciencia.* 57 (6): 43–47.
- Mandrikas, A.; E. Michailidi & D. Stavrou.** 2020. Teaching nanotechnology in primary education. *Research in Science & Technological Education,* Vol. 38(4): 377-395.
- Peñaherrera, P.** 2010. Remoción selectiva de níquel desde suelos contaminados utilizando nanodendrimeros. 43-50.
- Prabal, M.; L. Youyong; C. Tahir & G. William.** 2009. Structure of polyamidoamine dendrimers up to limiting generations: A mesoscale description. *The Journal of Chemical Physics.* 130.
- Schnitzer, M.** 1990. Selected methods for the characterization of soil humic substances. pp. 65-89. In P. MacCarthy, C.E. Clapp, R.L. Malcolm P.R. Bloom (Eds.) *Humic substances in soil and cop sciences: selected readings.* Proceeding of a symposium by the IHSS, Chicago, Illinois, December 1985.
- Shcarbin, D.; J. Mazur; M. Szwedzka; M. Wasiak; B. Palecz & M. Przybyszewska.** 2007. Interaction between PAMAM 4.5 dendrimer, cadmium and bovine serum albumin: A study using equilibrium dialysis, isothermal titration calorimetry, zeta-potential and fluorescence. *Colloids and Surfaces Biointerfaces:* 286-289.
- Stevenson, F.** 1994. *Humus chemistry. Genesis, composition. Reactions.* Second Edition. John Wiley Sons, Inc, New York.
- Toala, P.** 2019. Inactivación de fósforo en aguas eutróficas mediante la aplicación de nanopartículas magnéticas de hierro (magnetita). Tesis para Optar el Grado de Biofísica. Esc. Sup. Politec. de Chimborazo-Rio Bamba, Ecuador. 79 p.
- Toledo, V. & A. Argueta.** 1993. Naturaleza, producción y cultura en una región indígena de Mexico .En E. Ieff, & J. Carabias, cultura y manejo sustentable de los recursos naturales. Mexico; CIIH, UNAM, Porrúa.
- Varanini, Z.; R. Pinton; M. De Biasi; S. Astolfi & A. Maggioni.** 1993. *Plant Soil* Vol. 153, 61-69.
- Vijayaraghavan, K.; J. Yun & Y. Sang.** 2008. Bacterial biosorbents and biosorption. *Biotechnology Advances.* Vol. 26, 266 – 291.
- Xu, Y. & D. Zhao.** 2005. Removal of copper from contaminated soils using polyamidoamine pamam dendrimers." *Environ. Sci. Technol.* 39 Vol(7): 2369–2375.
- Yonghong, Z.; L. Yatin; Z. Zhigno; T. Yunin; C. Weiging; M. Chegnan; Ch. Fangling & L. Jiangwei.** 2022. Efecto de los ácidos orgánicos de bajo peso molecular sobre las características de migración del Pb en suelos recuperados. *Frontiers Chemistry.* Vol (10)/Article 934949.
- Zhao, D. & K. SenGupta.** 2000. Ligand separation with a copper (II)-loaded polymeric ligand exchanger. *Industrial & Engineering Chemistry Research.* Vol. 39(2): 455- 462.
- Zhao, X.; E. Bihonget; W. Hanyu; Z. Wuodong; M. Xiangxian; J. Liang & Q. Ventilador.** 2020. A comprehensive investigation of hazardous elements contamination in mining and smelting-impacted soils and sediments. *Ecotoxicol. Environ.* Vol. (192): 1-2.

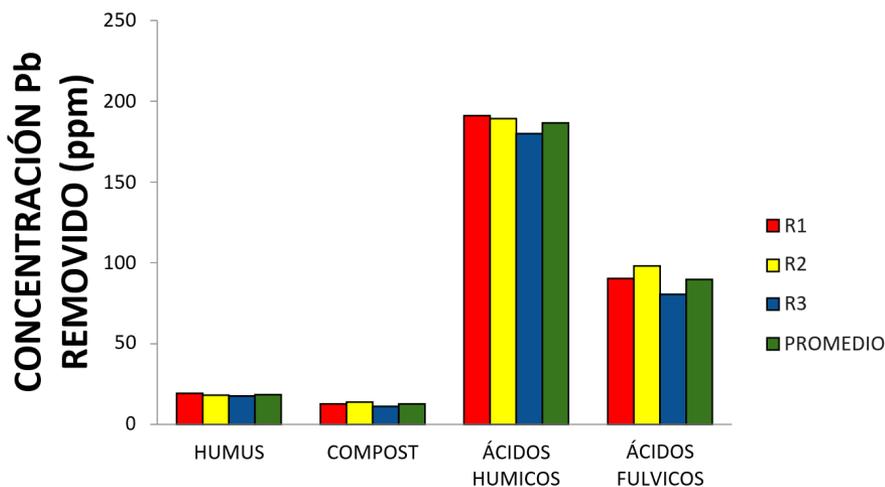
ANEXO TABLAS

Tabla 1. Concentración de Pb removido del filtrado en ppm en los sistemas humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros por repetición (R).

Repetición Condición	R1 (ppm)	R2 (ppm)	R3 (ppm)	Promedio (ppm)
Remoción de Pb utilizando Humus	19,30	18,10	17,70	18,40
Remoción de Pb utilizando Compost	12,80	13,90	11,30	12,70
Remoción de Pb utilizando Ácidos Húmicos	191,10	189,20	179,90	186,70
Remoción de Pb utilizando Ácidos Fúlvicos	90,40	98,10	80,60	89,70

Tabla 2. Porcentaje de Pb removido en el sistema humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos puros por cada repetición (R).

Repetición Condición	R1 (%)	R2 (%)	R3 (%)	Promedio (%)
Pb removido en Humus	9,65	9,05	8,85	9,20
Pb removido en Compost	6,40	6,95	5,65	6,35
Pb removido en Ácidos húmicos	95,55	94,6	89,95	93,35
Pb removido en Ácidos fúlvicos	45,20	49,05	40,30	44,85



MATERIALES ORGÁNICOS

Fig. 1. Concentración de Pb removidos en ppm por Repeticiones (R) en los sistemas humus, compost, ácidos húmicos y ácidos fúlvicos.

Tabla 3. Análisis de varianza de las concentraciones de Pb obtenidos por cada repetición en todos los sistemas.

Fuente	Suma de Cuadrados	Gl	Cuadrado Medio	Fc	Ft
Entre grupos	59337,8	3	19779,3	686,48	4,07
Intra grupos	230,5	8	28,8125		
Total	59568,3	11			

