



FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“BIOSORCIÓN DE PLOMO (II) EN EFLUENTES MINEROS”

Trabajo de Investigación para optar el grado de:  
BACHILLER EN INGENIERA AMBIENTAL

Presentado por:  
Nelsy Saidith Palacin Rimas

Asesor:  
Dr. Elvito Fabián Villegas Silva

Lima – Perú

2019



**RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N°131-2019-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA**

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 30 de septiembre de 2019

**VISTO:**

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **Biosorción de plomo (II) en efluentes mineros**, presentado por:

- **Palacín Rimas Nelsy**

**CONSIDERANDO:**

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller en **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

**SE RESUELVE:**

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **Biosorción de plomo (II) en efluentes mineros** con N° de registro de la carrera: **009-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Dr. Elvito Fabián Villegas Silva** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



**Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca**  
Director Académico de Carrera  
Ingeniería Ambiental

T: (51) 610-6400  
opción 2  
[www.cientifica.edu.pe](http://www.cientifica.edu.pe)

Campus  
Panamericana Sur  
Km 19 - Lima 42

**BIOSORCIÓN DE PLOMO (II) EN EFLUENTES MINEROS****BIOSORPTION OF LEAD (II) IN MINING EFFLUENTS**

Nelsy Saidith Palacin Rimas<sup>1</sup> y Elvito Fabián Villegas Silva<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Facultad de Ciencias Ambientales, Universidad Científica del Sur.*

**Resumen**

La Sociedad Nacional de Minería, Petróleo, y Energía alega que en el 2017 la producción de plomo en nuestro país tuvo una tasa de crecimiento negativa, debido a que algunas empresas como Volcan, Trevali Perú y Catalina Huanca tuvieron una baja producción de este metal, lo que en años anteriores no sucedía eso. La minería es una actividad que brinda gran ingreso económico al Perú, sin embargo, algunas de ellas no respetan las normas relacionadas con la conservación de la naturaleza y vierten sus aguas residuales directamente al río o en otros casos abandonan sus depósitos de relaves mineros cerca a alguna población, esta población al estar aledaña a estos sufre de enfermedades ocasionadas por la ingestión de metales provenientes de estos depósitos. Asimismo, estos relaves se erosionan y contaminan cuerpos de agua, debido a estos problemas han surgido muchos procesos de descontaminación de aguas, hoy en día se habla de la biosorción el cual promete ser una tecnología limpia y muy efectiva ya que usa materiales orgánicos como biosorbentes y su efectividad de remoción de metales pesados superan el 90% si se aplican hongos como biosorbentes. La biosorción nos muestra que tanto un material orgánico puede adsorber un metal presente en el agua, esta capacidad se expresa en mg de metal/ g de biosorbente.

**Palabras clave:** Biosorción, plomo (II), efluentes mineros, biosorbentes

**Abstract**

The National Society of Mining Oil, and Energy mentions that in 2017 the production of lead in our country had a negative growth rate, because some companies such as Volcan, Trevali Peru and Catalina Huanca have had a low production of this metal, what in previous years did not happen. Mining is an activity that provides a large economic income in Peru, however, some of them do not respect the rules related to the maintenance of nature and air transport. Some people Likewise, these tailings erode and contaminate the bodies of water, due to these problems many water decontamination processes have arisen, nowadays we are talking about biosorption which promises to be a clean and very effective technology since it uses Organic materials such as biosorbents and its goal of removal of heavy metals exceeded 90% if fungi are used as biosorbents. Biosorption shows us how much an organic material can adsorb a metal present in water, this capacity is expressed in mg of metal / g of biosorbent.

**Keywords:** Biosorption, lead (II), mining effluents, biosorbents

## Introducción

La productividad de plomo en el Perú en el 2013 fue de 266 mil toneladas y el principal productor fue Animon (INGEMMET, 2014), un yacimiento que extrae metales como el plomo, zinc y cobre, la cual pertenece a la Empresa Administrativa Chungar SAC., ubicado en el distrito de Huayllay, provincia y región Pasco, a una altitud de 4600 msnm (Muñoz, 2006). Del mismo modo, la Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía indica que en el 2016 las principales empresas productoras de plomo en nuestro país fueron Volcan Compañía Minera S.A.A. (con el 17% del total producido), Compañía Minera Raura S.A (8%), Buenaventura (7%), Milpo Andina Perú S.A.C y Compañía Minera Milpo S.A.A cada una con el 6%, sin embargo, en el año 2017 se registró una caída de producción en mineras como Volcan Compañía Minea S.A.A, Trevali Perú S.A.C y Catalina Huanca Sociedad Minera S.A.C (SNMPE, 2017).

Las mineras dañan el ambiente con sus relaves, que es un material mineralizado producto o desechos de los procesos mineros (MEM, 2006), los almacenes de relaves perjudican la salud de los pobladores que viven cerca a ellas, por ejemplo, la relavera Quiulacocha ha dañado la salud de muchos niños menores de 10 años, quienes presentaron anemia, desnutrición crónica, parasitosis y cierto retraso en el desarrollo psicomotor (Astete et al., 2009). Además de las enfermedades en niños, el plomo puede destruir la placenta de mujeres embarazadas, ya que la alta concentración plomo deteriora la placenta, por ende, pone en riesgo la vida del feto y del recién nacido (Castro et al., 2016).

Cerro de Pasco posee varios pasivos ambientales que están siendo erosionados y forman efluentes con pH de 2 a 3, estos efluentes ácidos son tomados por quebradas los cuales entran al río San Juan (Villarreal, 2016). Este río es el distributario principal de la cuenca del río Mantaro y se origina de la unión de los ríos Rancas y Alcacocha en el lugar denominado Patacancha a una altitud de 4200 msnm (INRENA, 2002), la polución de este río se debe principalmente a la presencia de la mina Volcan S.A.A., Minera Colquijirca y Minera Marcapunta, las cuales ocasionan la aparición de drenaje ácido y residuos sólidos (Paz, 2016). El Organismo Superior de la Inversión en Energía y Minería (OSINERGMIN) en su informe integrado del monitoreo participativo publicado en el año 2010, señala que el río San Juan no está contaminado con plomo ya que posee una

concentración inferior a 0,01 ppm (Tapara & Guerrero, 2010). Por otro lado, la Dirección General de Salud Ambiental (DIGESA) realizó un monitoreo desde el año 2001 al 2011 en el río San Juan, en donde se registró grandes cantidades de plomo que superan los 0,05 ppm y que afecta la categoría 3 del Estándar de Calidad Ambiental (ECA), D1: riego de vegetales y D2: bebida de animales (Villarreal, 2016). Por su parte El Ministerio de Agricultura y Riego en el año 2018 realizó monitoreos a lo largo de la cuenca Mantaro que abarca también el río San Juan (ANA, 2018).

Sin embargo, existen muchos materiales que actúan como material biosorbente del plomo (II), por ejemplo, el bagazo de la palma africana posee una capacidad de biosorción de 91,84% a un pH 6 (Tejada et al., 2015). Por otro lado, no sólo los vegetales o residuos de éstos pueden remover metales pesados, las biomásas fúngicas como *Penicillium* sp. también tienen la capacidad de remoción de Pb y Cd en un 62,9% y 60,4% respectivamente, el pH máximo de remoción se encontró entre 6 y 10, para Pb y Cd (Sánchez et al., 2014). El *Pennisetum clandestinum* Hochst (KIKUYO), también presenta la capacidad de 139,35 mg/g a una dosis de 0,06 g, una velocidad de agitación de 100 rpm y pH 6 para remover Pb (II) de aguas contaminadas, (Maldonado et al., 2012).

El objetivo del trabajo fue identificar la información bibliográfica disponible sobre la biosorción de plomo provenientes de efluentes mineros, para informar a la población de la gran importancia de aplicar esta tecnología por su importancia en la eliminación y reducción de metales pesados presentes en los cuerpos de agua y mostrar la efectividad de algunos biosorbentes orgánicos del plomo (II).

## **I. Marco teórico**

### **Biosorción**

La biosorción es un proceso en donde se realiza la captación de metales pesados por una biomasa completa (viva o muerta), mediante mecanismos fisicoquímicos tales como la adsorción o el intercambio iónico (Cañizares-Villanueva, 2000) incluye también la absorción, la microdeposición y los mecanismos de complejación de la superficie de materiales de origen biológico (Fomina y Gadd, 2014). Este proceso comprende una fase sólida (biosorbente,

paredes celulares) y una fase líquida (solvente, agua) en el que se encuentra el sorbato (Mejía, 2006). En la actualidad, la biosorción es ideal para la purificación de los efluentes que contienen metales pesados (Calero et al., 2013), además, es de alta eficiencia y de bajo costo (Qaiser, Rasheed & Umar, 2008). Sin embargo, existen pocos estudios a escala piloto e industrial y hay una posibilidad de incrementar los costos (Morosanu, 2016).

### **Mecanismos de biosorción**

Los mecanismos más importantes son la adsorción física, el intercambio iónico, complejación y precipitación (Mamani, 2016). En la adsorción se involucran fenómenos que tienen una relación con la fuerza de Van der Waals, por lo tanto, la fuerza de atracción de los metales a la superficie del sólido es débil (Ronda, 2016). En el intercambio iónico, las paredes celulares de la biomasa contienen polisacáridos los cuales tienen la propiedad de intercambiar los iones metálicos divalentes (Ronda, 2016). La complejación se lleva a cabo para retirar los metales de una dilución después de haberse desarrollado el intercambio de metal y los centros activos (Mamani, 2016), finalmente la precipitación tiene que ver con la formación de un complejo en la pared celular que después es hidrolizado (Quiñones et al., 2014). Los datos que se obtienen de este proceso se someten a modelos de equilibrio de Langmuir y Freundlich (Calero, 2013).

### **Modelos de isoterma**

Una isoterma es una gráfica de curvas que relaciona la capacidad de biosorción con el constante de equilibrio (Mamani, 2016). Existen dos isotermas principalmente, los modelos de Freundlich y Langmuir los cuales se utilizan para los estudios de equilibrio de sorción entre un biosorbente y los iones de Pb (García-Rosales, 2010) las isotermas de Langmuir asumen que la biosorción tiene lugar en sitios homogéneos específicos en la superficie del adsorbente (Calero, 2013). Por el contrario, el modelo de Freundlich se emplea para la adsorción en concentraciones más bajas en superficies heterogéneas y supone que las moléculas adsorbidas interactúan con sus vecinos adyacentes (Morosanu, 2016). También se deben tener en cuenta los parámetros termodinámicos los cuales están en relación de la temperatura en la biosorción

y la constante de Langmuir, asimismo, emplear ecuaciones de entalpía, la entropía y la energía libre de Gibbs (Morosanu, 2016).

### **Equilibrio de sorción**

Por la gran relación del sorbente por el sorbato, el sorbato es atraída hacia el sólido y es encerrada por diferentes mecanismos, la cantidad que se retienen en este proceso de equilibrio es constituida entre la cantidad de biosorbente y la diferencia del sorbato y su concentración remanente en la solución (Mamani, 2016), para determinar la abundancia del metal sobre el balance de materia en la sorción se tiene la siguiente ecuación:

$$q = \frac{(C_i - C_f)}{S}$$

Donde:

$q$  es la cantidad de metal sobre el balance de materia en la sorción (mg/g)

$C_i$  es la concentración inicial del metal en la solución

$C_f$  es la concentración final del metal en la solución

$S$  es la cantidad del biosorbente añadido sobre la base seca

### **Factores que afectan el proceso de biosorción**

Uno de los principales factores es el pH, éste influye en la naturaleza de los sitios de unión, en la solubilidad del metal, en la solución química de los metales, la actividad de los grupos funcionales de la biomasa y la competencia entre los iones (Pérez, 2018). En un rango de 1 a 4 de pH las células vegetativas son más efectivas para acumular plomo (Si-Cheng, 2018). En este proceso el incremento de la temperatura, aumenta la energía del sistema y facilita el enlace entre el metal y la superficie del microorganismo (Pérez, 2018). Por otro lado, tenemos el tipo del material, éste depende de la composición y la reactividad química, densidad, porosidad, tamaño y forma de partícula de partícula, etc. (Ronda, 2016). Asimismo, es necesario conocer la concentración máxima que puede adsorber (Mamani, 2016) ya que influye directamente en la capacidad de biosorción (Pérez, 2018).

## **Metales pesados**

Los metales pesados son sustancias tóxicas y el más antigua que es ser humano haya conocido (Nava-Ruíz, 2011), generalmente se originan por las actividades industriales, ya sean minería, metalurgia, galvanoplastia, electrónicas y acabado de metales (Wang, 2018). De todas estas actividades la minería causa mayor contaminación con metales pesados como el arsénico (As), cadmio (Cd), mercurio (Hg) y plomo; (ATSDR, 2017), siendo el plomo (Pb) en que más tóxico de todos. Sin embargo, algunos de los metales son necesarios para el ser humano como el hierro (Fe), cobalto (Co), cobre (Cu), manganeso (Mn), molibdeno (Mb) y Zinc (Sabath, 2012).

## **El plomo y su toxicidad**

El plomo es uno de los metales pesados tóxicos que más contaminan al ambiente y afectan el desarrollo, reproducción, aprendizaje del ser humano, el comportamiento y el metabolismo (Ronda et al., 2012) ya que no tiene una función biológica esencial conocida y todos los compuestos de plomo son potencialmente dañinos y tóxicos (Ronda et al., 2012) y en la etapa gestacional de una mujer daña la placenta e impide el desarrollo del feto (Bedriñana, Peinado & Ríos, 2016) asimismo, el plomo presente en los huesos es soltado hacia la sangre durante el embarazo y se transforma en una fuente de exposición para el feto (OMS, 2018). Son causantes de las enfermedades como la anemia, encefalopatía, hepatitis y síndrome nefrítico (Deng et al., 2006, citado en Sánchez et al., 2014).

Los efectos tóxicos del plomo fueron descritos por Nicander, un poeta griego quien escribió acerca de la enfermedad del plumbismo, que posteriormente se llamó saturnismo debido a la conservación de sus alimentos en recipientes de cobre cubiertos con plancha de plomo (Rubio et al., 2004), las primordiales fuentes de contaminación son la explotación en minas, la metalurgia, las actividades de fabricación y reciclaje; esto causa daños a las personas por la inhalación de partículas de plomo o por la ingestión de polvo, aguas o alimentos contaminados (OMS, 2018) como bebidas en loza de vidrio vidriado (BV) con óxido de plomo (Téllez-Rojo, 2017).

## **Legislación nacional para el plomo**

En el Perú, existen dos normas principales aplicados al plomo y a otros elementos químicos, estas normas son los límites máximos permisibles de las descargas de efluentes mineros (los cuales se miden en el punto de emisión o vertimiento del contaminante) y los estándares de calidad ambiental para agua (estos se miden en un cuerpo receptor, en este caso en el agua), presentados a continuación:

Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicos. Aprobado mediante el Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM, en donde el límite en cualquier momento para el plomo total es 0,2 mg/L y el límite para el promedio anual es 0,16 mg/L (El Peruano, 2010), sin embargo, no todas las mineras tienen en cuenta este dato importante.

Estándares de Calidad Ambiental para agua, fue aprobado mediante el Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Esta norma evalúa los diferentes parámetros en el cuerpo receptor, asimismo, en la categoría 3 riego de vegetales y bebida de animales, esta norma señala que la concentración de plomo no debe exceder los 0,05 mg/L (El Peruano, 2017) sin embargo, algunos ríos presentan concentraciones más altas de lo que indica la norma.

### **Principales empresas productoras de plomo y su producción en el Perú**

En el 2013, la producción de plomo fue de 266 mil toneladas, siendo Animon el mayor productor con el 11% a nivel nacional (Acosta, 2015). La Sociedad Nacional de Minería Petróleo y Energía indica que en el 2016 las empresas con mayor producción de plomo en el Perú fueron Volcan (17% del total), Raura (8%), Buenaventura (7%), Milpo Andina y Milpo cada una con el 6% (SNMPE, 2017) y la producción total en ese año fue 314,422 TM siendo Pasco la región que más aportó a la producción con un 28%. En el 2017 se registró una tasa negativa de crecimiento del plomo (-2,6%), y las empresas implicadas en esto fueron la Cía. Minera Volcan (-24,7%), junto con Trevali Perú (-42,9%) y Catalina Huanca Sociedad Minera (-43,4%), estos datos son del periodo enero – noviembre del 2017 (SNMPE, 2017). En setiembre del 2018 se produjo 25 mil TM, 7,2% menos que el mes de agosto debido a la baja producción de las empresas (SNMPE, 2018).

### **Biosorbentes de plomo**

Existen muchos materiales que poseen la capacidad de remover el plomo (II), por ejemplo, el bagazo de la palma africana tiene una capacidad de biosorción de 91,84% en promedio a un pH 6 (Tejada et al., 2015), la colza posee una capacidad de eliminación del Pb (II) de 94,47% (Morosanu, 2016) y el *Pennisetum clandestinum Hochst* (KIKUYO), presenta la capacidad de 139,35 mg/g para remover Pb (II) de aguas contaminadas, (Maldonado et al., 2012). Por otro lado, no sólo los vegetales o sus residuos pueden adsorber metales pesados, las biomásas fúngicas como *Penicillium* sp. también tienen la capacidad de eliminar el plomo y cadmio en un 62,9% y 60,4% respectivamente, (Sánchez et al., 2014). Finalmente, la bacteria *Ralstonia solanacearum* posee una capacidad de eliminación del 90% (Pugazhendhi, 2017).

### **La tara**

*Caesalpinia spinosa* o comúnmente conocida como “tara” o “taya”, es una planta endémica del Perú utilizada desde la época prehispánica (De La Cruz, 2004), puede crecer entre los 800 msnm y 2800 msnm (Romero, 2017) a una temperatura entre los 4°C y 32°C (Fernández, 2008). Las regiones con más producción en el Perú son Cajamarca, La Libertad, Ayacucho, Huancavelica, Apurímac, Ancash y Huánuco (De La Cruz, 2004). Asimismo, la vaina de la tara presenta un 33% de semilla, 45% de polvo y 22% de fibra, estos dos últimos contienen taninos del 52% a 54%, y el extracto tanino o el extracto de la tara presenta propiedades como: humedad (5% - 4%), taninos (66% - 71,5%), no taninos (27% - 19%), insolubles (3% - 5,5%) y cenizas del 3% a 3,5% (Basurto, 2006). A partir de la tara se obtienen el polvo y la goma, esta última es útil como espesante, reactivo de adsorción y ligador de hidrógeno (Romero, 2017).

### **Problemas de la tara**

En la provincia de San Marcos, Cajamarca, el área productiva de la tara es de 2,01 has., de las cuales 0,67 ha. son plantaciones y 1,34 ha. son otros cultivos, sin embargo, la mayoría de los agricultores solo aprovechan los frutos y poco les importa las buenas prácticas de manejo tecnificado del bosque y plantaciones (Cotrina, 2015). También tienen problemas con las plagas que pertenecen a las órdenes de Lepidóptero, Díptera, Homóptera, Ortóptera y Acarina (Bocanegra, 2012). Sin embargo, existen controladores que pueden contrarrestar este

problema, como controladores biológicos, químicos, convencional o tradicional (Gamarra, 2013). Por otro lado, los taninos de la tara se usan para la eliminación de hongos que afectan a los cultivos de arroz (León, 2018).

## **II. Conclusiones**

Los metales pesados en su mayoría provienen de la actividad minera, siendo el más tóxico el plomo, que provoca daños al ambiente y a la salud humana. Asimismo, La presencia de los relaves mineros cerca a poblaciones afecta el desarrollo y reproducción de los individuos, y también causan defectos en los fetos de mujeres embarazadas.

La producción de plomo en el Perú va en aumento, sin embargo, algunas mineras que extraen este metal no tratan sus aguas residuales y llegan al cuerpo receptor sin previo tratamiento y, por lo tanto, causa daño al ambiente y también a la salud de la población aledaña a estas áreas.

La biosorción es una tecnología limpia, muy efectiva y de bajo costo, aunque aún no se ha desarrollado a gran escala, sin embargo, tiene gran potencial para la eliminación de metales pesados y causa aún más efecto si se emplean biosorbentes orgánicos, los cuales son de bajo costo y fácil de conseguir.

Asimismo, los hongos como biosorbentes poseen gran capacidad de biosorción del plomo (II), esta capacidad puede sobrepasar el 90%, y por ende reduce el impacto en el ambiente y en las poblaciones.

Finalmente, la tara es una planta endémica del Perú con propiedades adsorbentes y sus residuos orgánicos aún no tienen uso en la industria y sería conveniente trabajar con ellos en la eliminación del plomo.

## **III. Bibliografía**

Acosta, J. (2015). Tendencias de la dotación de plomo y zinc en el Perú. INGEMMET, 48-52.

- Bocanegra, J. (2012). *Dinámica de poblaciones de insectos plagas y benéficos en el cultivo de la tara (Caesalpinia spinosa) bajo un sistema de riego por goteo con aguas residuales en el distrito de Lurín – Lima (tesis pregrado)*, Universidad Nacional de San Martín, Tarapoto, Perú.
- Calero, M.; Pérez, A.; Blásquez, G.; Ronda, A.; Martín-Lara, M. (2013). Characterization of chemically modified biosorbents from olive tree pruning for the biosorption of lead. *Ecological engineering*, 58, pp. 344 – 354.
- Cañizares-Villanueva, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamérica de Microbiología*, 42, 131 – 143.
- Cotrina, J. (2015). La tara el oro verde de las familias. Recuperado de <http://repositorio.minagri.gob.pe/>
- De La Cruz Lapa, P. (2004). Aprovechamiento integral y racional de la tara *Caesalpinia spinosa – Caesalpinia tinctoria*. *Revista del Instituto de Investigación FIGMMG*, 7(14), 64 – 73.
- El Peruano. (2010). Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de Actividades Minero – Metalúrgicos. Recuperado de <http://www.minam.gob.pe/>
- El Peruano. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para agua. Recuperado de <http://sinia.minam.gob.pe/>
- Fernández, A. (2008). *Estudio de las propiedades antioxidantes de un extracto supercrítico de la vaina de la tara (Caesalpinia spinosa) para su uso potencial como aditivo alimentario (tesis pregrado)*. Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Fomina, M. & Gadd, G. (2014). Biosorción: perspectivas actuales sobre concepto, definición y aplicación. *Biorour Tecnol*, 160(1), 3-14.
- Gamarra, I. (2013). *Plagas y enfermedades de la tara Cesalpinia spinosa. (Mol) O. Kuntze (tesis pregrado)*. Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

- García-Rosales, G. & Colín-Cruz. (2010). Biosorption of lead by maize (*Zea mays*) stalk sponge. *Environmental Management*, 91, 2079 – 2086.
- Khosa, M. & Ullah, A. (2018). Mechanistic insight into protein supported biosorption complemented by kinetic and thermodynamics perspectives. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2-14.
- León, M. (2018). *Evaluación In Vitro de la capacidad inhibidora de taninos presentes en la tara (Cesalpinia spinosa) frente a Fusarium sp. (tesis pregrado)*, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador.
- Mamani, R. (2016). *Bioadsorción de plomo (II) de las aguas del río Ayaviri, mediante el uso del salvado de cebada (tesis pregrado)*. Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú.
- Mejía, G. (2006). Aproximación teórica a la biosorción de metales pesados por medio de microorganismos. *CES Medicina Veterinaria y Zootecnia*, 1(1), 77-99.
- Morosanu, I.; Teodosiu, C.; Paduraru, C.; Ibanescu, D. & Tofan, L. (2017). Biosorption of lead ions from aqueous effluents by rapessed biomass. *New Biotechnology*, 39, 110-124.
- Nava-Ruíz. & Méndez-Armenta. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, arsénico y talio). *Arch Neurociencia*, 16(3), 140 – 147.
- OMS. (2018). Intoxicación por plomo y salud. Recuperado de <http://www.who.int/es>
- Pugazhandhi, A. et al. (2017). New insight into effective biosorption of lead aqueous solution using *Ralstonia solanacearum*: Characterization and mechanism studies. *Journal of Cleaner Production*, 174, 12 – 1239.
- Qaiser, S.; Rasheed, A.; & Umar, M. (2008). Biosorption of lead from aqueous solution by *Ficus religiosa* leaves: Batch and column study. *Hazardous Materials*, 166, 998-1005.

- Ronda, A.; Martín-Lara, M.; Dionisio, E.; Blázquez, G. & Calero, M. (2012). Effect of lead in biosorption of copper by almond Shell. *El Sevier*, 44, 466-473.
- Rubio, C.; Gutierrez, A.; Martin-Izquierdo, R.; Revert, C., Lozano, G & Hardisson, A. (2004). El plomo como contaminante alimentario. *Rev. Toxicol*, 21, 72 – 80.
- Sabath, E. & Ludivina, M. (medio ambiente y riñón: nefrotoxicidad por metales pesados. *Revista Nefrología*, 32 (3), 279 – 286.
- Sánchez, J.; Marrugo, J. & Urango, I. (2014). Biosorción simultanea de plomo y cadmio en solución acuosa por biomasa de hongos *Penicillium sp.* *Temas agrarios*, 19(1), 63-72.
- SNMPE. (2016). El Plomo. Sociedad Nacional de Minería Petróleo y energía. Recuperado de [www.snmpe.or.pe](http://www.snmpe.or.pe)
- SNMPE. (2017). Memoria anual 2017. Sociedad Nacional de Minería Petróleo y energía. Recuperado de [www.snmpe.or.pe](http://www.snmpe.or.pe)
- Téllez-Rojo, M. et al. (2017). Intoxicación por plomo y nivel de marginación en recién nacidos de Morelos, México. *Salud pública de México*, 59(3), 218 – 226.
- Villarreal, M (2014). *Calidad de agua del río San Juan, en el departamento de Pasco* (tesis de pregrado). Universidad Nacional Federico Villarreal, Lima, Perú.
- Wang, L. et al. (2018). Recent advances on biosorption by aerobic granular sludge. *Journal of Hazardous Materials*, 257, 253 – 270.

