

## Transferencia de metales suelo - planta en el cerro "El Toro", Huamachuco, Perú

Transfer of metals soil plant in the hill "El Toro", Huamachuco, Peru

Narda Marisol Alarcón Rojas\*; Freddy Peláez Peláez 

### Resumen

En la minera informal del cerro "El Toro", se establecieron tres puntos de muestreo, con la finalidad de determinar las plantas con potencial fitorremediaror, para ello se tomaron muestras de suelo superficial y se recolectaron plantas herbáceas vasculares. El material fue trasladado al laboratorio de Botánica de la Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Nacional de Trujillo, para la identificación de las especies y la preparación de las muestras de suelo y plantas; la determinación de los metales se hizo mediante un ICP-OES. Los resultados han evidenciado que existe alto contenido de metales pesados en el suelo, especialmente de Pb y As, superando los estándares de Calidad Ambiental para suelo; así mismo, *Bidens triplinervia*, *Lepidium pubescens*, *Baccharis libertadensis* y *Sonchus oleraceus* son capaces de crecer en suelos con alto contenido de metales pesados, siendo hiperacumuladoras a excepción de *B. triplinervia* que tiene la capacidad para fitoestabilizar metales en sus raíces.

**Palabras clave:** minería; Cerro El Toro; metales; fitorremediación.

### Abstract

In the informal mine of the hill "El Toro", three sampling points were established in order to determine the plants with phytoremediation potential, for this purpose samples of superficial soil were taken and vascular herbaceous plants were collected. The material was transferred to the Botanical Laboratory of the Faculty of Biological Sciences of the National University of Trujillo, for the identification of the species and the preparation of soil and plant samples; the determination of the metals was done by means of an ICP-OES. The results have evidenced that there is a high content of heavy metals in the soil, especially of Pb and As, surpassing the environmental quality standards for soil; likewise, *Bidens triplinervia*, *Lepidium pubescens*, *Baccharis libertadensis* and *Sonchus oleraceus* are capable of growing in soils with a high content of heavy metals, being hyperaccumulators with the exception of *B. triplinervia* that has the capacity to phyto-stabilize metals in its roots.

**Keywords:** mining; Cerro El Toro; metals; phytoremediation.

---

Facultad de Ciencias Biológicas, Universidad Nacional de Trujillo. Ciudad Universitaria, Av. Juan Pablo II S/N, Trujillo, Perú.

\*Autor correspondiente: [nalarcon@unitru.edu.pe](mailto:nalarcon@unitru.edu.pe) (N. Alarcón).

F. Peláez  <https://orcid.org/0000-0001-7053-5885>

Recibido: 12-09-2019.  
Aceptado: 29-11-2019.

## Introducción

Los impactos que genera la minería de metales son cuantiosos, y estos se ven aumentados cuando se desarrolla en los matices de la informalidad alejado de los avances tecnológicos (Alcoba, 2014; Sánchez *et al.*, 2017).

En nuestro país, la lista de asentamientos mineros informales está encabezada por las regiones de La Libertad, Madre de Dios, Puno e Ica-Arequipa. En la Libertad, la minería artesanal o informal se desarrolla ampliamente en las provincias de Sánchez Carrión, Pataz, Otuzco (Salpo), Santiago de Chuco y últimamente Gran Chimú (Huancajanga, Sayapullito) (Asociación Civil Derecho & Sociedad, 2010). En la provincia de Sánchez Carrión, destaca el Cerro “El Toro”, donde se viene explotando oro desde hace más de veinte años de manera artesanal e informal, con manipulación directa de insumos inapropiados, como el mercurio y actualmente el cianuro de sodio, cal y carbón activado (SPDA, 2014; Bech *et al.*, 2002; IIMP, 2007).

Casanova y Gutiérrez (2010) encontraron elevadas concentraciones de cobre, hierro, plomo, arsénico, cianuro y mercurio, tanto en suelo como en las fuentes hídricas aledañas al cerro “El Toro”; asimismo, afirman que por la continuidad de la actividad minera estos elementos se están acumulando en las capas superficiales del suelo, donde al pasar un cierto umbral pueden convertirse en elementos muy peligrosos, debido a que no pueden ser degradados y tienen una lenta y difícil eliminación; por ejemplo se ha observado que el Zinc tiene una permanencia de 70 a 510 años, el Cadmio de 13 a 1100 años y el Cobre de 310 a 1500 años, tiempos que pueden variar por los regímenes de humedad y temperatura del suelo, no obstante, no dejan de ser una amenaza inminente (Bech *et al.*, 2002; Mahecha *et al.*, 2015).

Esta realidad problemática que se repite en diversos sectores del mundo, han estimulado a la búsqueda de nuevos procedimientos tecnológicos que permitan la recuperación de ambientes afectados, donde la fitorremediación o fitolimpieza es una interesante alternativa que usa plantas para remediar suelos contaminados (McGrath y Zhao,

2003; Munive, 2018). Ésta tecnología tiene diversas bondades que la hacen muy competitiva, por ejemplo su bajo costo, bajo impacto para el suelo y es ambiental y socialmente bien vista; sin embargo, aunque existen numerosas investigaciones enfocadas a elucidar los fundamentos de estas estrategias de remediación (fisiología, metabolismo, bioquímica, genética, etc.) (Moreno, 2010; Peralta y Volke, 2012), aún queda mucho por estudiar; por ejemplo, el desarrollo de estas tecnologías a nivel experimental (Marmioli *et al.*, 2010; Duran, 2010); ya que son pocos los antecedentes en ése contexto, debido a la larga duración de los proyectos de fitorremediación, que dependen directamente del ciclo biológico de las plantas, la actividad biológica y las condiciones climáticas (Pilon, 2005; Ernst, 2005; Pérez, 2011).

Actualmente, existen diversos procesos de fitorremediación como: la fitodegradación, fitovolatilización, fitoestabilización, fitoextracción y rizorremediación, siendo las dos últimas, científica y comercialmente más populares. Pero es la fitoextracción, donde se usa plantas hiperacumuladoras como una de las pocas opciones para tratar sitios contaminados con metales y meta-loides (Peralta y Volke, 2012; Gonzaga y Ganoza, 2006). Una planta se considera como hiperacumuladora por su capacidad de acumular y transformar una variedad de compuestos tóxicos, en especial metales, que se refleja en sus tasas de crecimiento y de acumulación, además deben presentar un alto rango de tolerancia a condiciones tóxicas (Zhi-xin *et al.*, 2007). Estas plantas pueden llegar a contener más de 0,1% de su peso seco de Co, Cu, Cr, Pb o Ni, o hasta un 1% de su peso seco de Mn o Zn (Prasad, 2004). No obstante, existen especies naturales o mejoradas que pueden acumular concentraciones de 2-4% de su peso seco (Brooks, 1998).

Diversas investigaciones han demostrado que existen varias plantas con capacidad hiperacumuladora, así podemos mencionar a *Brassica juncea* (hiperacumuladora de Pb, Ni y Cd), *Thlaspi caerulescens* (Zn), *Helianthus annuus* (CrIII) (Peralta y Volke, 2012) y *Prosopis laevigata* (Pb y Ni)

(Marmioli *et al.*, 2010). Para el caso de nuestro país, Duran (2010), en un estudio realizado en Cajamarca (Hualgayoc) ha reportado que *Bidens triplinervia*, *Senecio* sp, *Sonchus oleraceus*, *Baccharis latifolia*, *Plantago orbignyana* y *Lepidium bipinnatifidum* son capaces de crecer en suelos con un alto contenido de metales pesados y tienen la habilidad de acumularlos en sus tejidos.

En éste campo la tarea es ardua, la flora de zonas tropicales y andinas ha sido poco estudiada y dada la elevada diversidad y abundancia de depósitos minerales metálicos de estas regiones, existen enormes posibilidades de descubrir nuevas plantas con propiedades fitorremediadoras, adaptadas a

espacios geográfico específicos (Duran, 2010; Jara *et al.*, 2017). Tal es el caso del cerro “El Toro”, donde está emplazado un asentamiento minero que está generando múltiples contaminantes impactando el ecosistema y la salud de las personas que laboran en la mina o que habitan en el área de influencia. Esta situación es alarmante y exige de la atención de las autoridades para afrontar éste problema de una manera integral, siendo la investigación una de las acciones inmediatas para la búsqueda de soluciones pertinentes; por ello, en el presente trabajo se ha realizado la determinación de metales pesados en el suelo y de tres plantas vasculares, con la finalidad de evaluar su potencial fitorremediador.

## Material y métodos

### 2.1. Área de estudio

El “Cerro el Toro” es una mina dedicada a la explotación informal de oro, ubicada en los caseríos de Santa Cruz, Coigobamba y Shiracmaca, siendo éste último el escenario de la presente investigación, el cual está ubicado a 3,5 km de la ciudad de Huamachuco, Provincia de Sánchez Carrión (Casanova y Gutiérrez, 2010). Considerando la influencia de los relaves mineros (ya sea por la distancia o por la llegada de escorrentías a la zona) y la accesibilidad (senderos de ingreso permitidos por los mineros de la zona) se han establecido 03 puntos de muestreo (Tabla 1).

**Tabla 1.** Ubicación geográfica de los puntos de muestreo del cerro “El Toro”, caserío Shiracmaca

N°	PM	ALTITUD (m.s.n.m.)	X	Y
1	Sh1	3194	829819	9134610
2	Sh2	3117	828925	9134625
3	Sh3	3116	830697	9135248

### 2.2. Recolección de muestras de suelos y análisis de metales

En cada punto de muestreo se hicieron 03 calicatas de aproximadamente 20 cm de profundidad, de cuyas paredes se recolectaron 2 kg de tierra. Las muestras se trasladaron al laboratorio de Botánica Sistemática de la UNT, donde se colocaron

en bandejas para secar a temperatura ambiente por un periodo 15 días, luego se tamizó (2 mm) y pulverizó para el análisis químico posterior en el laboratorio acreditado NKAP S.R.L., para lo cual se entregó 1 kg de muestra de suelo debidamente rotulado.

### 2.3. Determinación de metales en plantas vasculares herbáceas

#### Recolección de plantas

Considerando la cobertura vegetal, distribución en la zona y la no presencia de síntomas de fitotoxicidad (Duran, 2010), se colectaron 5 ejemplares completos (raíz, tallo y hojas) de plantas vasculares herbáceas, dos de los cuales se ingresaron al Herbarium Truxillense y las restantes se destinaron para el análisis químico.

#### Lavado, secado y pulverizado de las plantas vasculares

Se eliminaron las partículas adheridas a la superficie de las plantas y luego se lavó con abundante agua destilada (3 veces), se secó y separó la raíz de la parte aérea, colocando en sobres debidamente rotulados. Posteriormente, las muestras se llevaron a una estufa a 60°C durante 2 días, para luego con la ayuda de un mortero obtener un pulverizado uniforme que permita realizar los análisis químicos (Duran, 2010).

### Proceso de extracción y medición de los metales pesados

Se pesó 0,1 g de cada muestra y se añadió 5 ml de ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) al 69% y 2 ml de agua oxigenada ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) al 30% y se colocó en el microondas (Microwave Digestión System OI Analytical). Luego, las muestras se enrasaron con agua miliQ, y se hizo la dilución de 1:5, de donde se extrajo 2 ml y se enrazó con 8 ml de agua miliQ, bajando la concentración del  $\text{HNO}_3$  de 10% a 2% (Duran, 2010). Los metales pesados se determinaron mediante el método ICP-OES (Espectrometría de emisión óptica).

### Cálculo del Índice de Bioacumulación (BFC) y Factor de Translocación (FT)

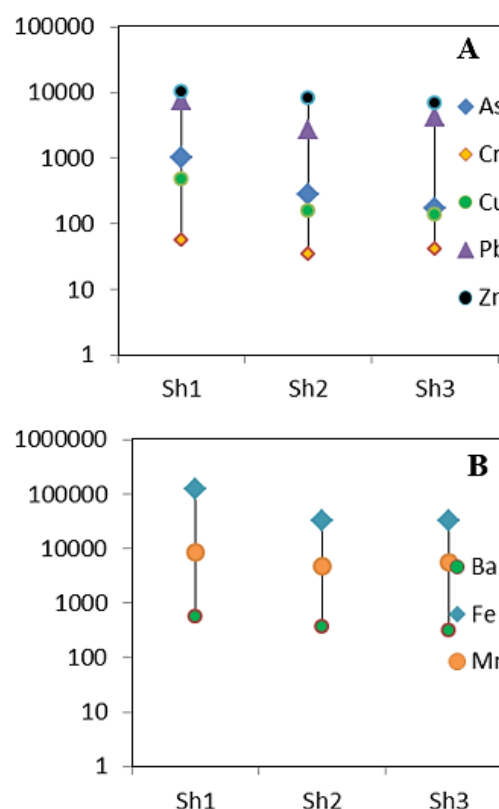
El índice de Bioacumulación se calculó dividiendo la concentración de cada elemento en la raíz con la del suelo (Pérez, 2008); y el factor de translocación, se obtuvo del cociente de la concentración del metal de la parte aérea entre la concentración en la raíz (Sun *et al.*, 2008; Jara *et al.*, 2017). Si las plantas tienen  $\text{BCF} > 1$  y  $\text{FT} > 1$  son consideradas como acumuladoras o híper acumuladoras, las que presentan menores a 1 se consideran plantas exclusoras.

## Resultados y discusión

Se puede apreciar que las concentraciones de los metales de bajo y alto riesgo es mayor en Sh1, lo que responde a la cercanía de éste punto a las pozas de cianuración, alcanzando hasta 10463 mg/kg, 7458 mg/kg y 1014 mg/kg de Zn, Pb y As, respectivamente. Así mismo, Sh2 y Sh3 son áreas destinadas para el cultivo de pasto y son irrigadas por dos quebradas Chamiz y Shiracmaca respectivamente, las mismas que aguas arriba son impactadas por los lixiviados residuales de la actividad minera; por ello, y pese a la lejanía al cerro "El Toro" presentan una contaminación moderada albergando en sus tierras hasta 146 y 168 mg/kg de As, 3736 y 4219 mg/kg de Pb y 8365 y 7004 mg/kg de Zn respectivamente (Figura 1).

Las concentraciones elevadas de As y Pb, superan los ECA para suelo de uso agrícola (DS N° 011- 2017 - MINAM), situación que no ocurre igual para el Ba, pues está por debajo de los 750 mg/kg establecidos; no obstante, es preciso señalar que nuestra norma no es muy exigente y no considera muchos otros metales; así García y Dorronsoro (2005) señalan que el valor límite para el Ba es de 200 mg/kg, con lo cual éste elemento se suma a la condición del As y Pb. Así mismo, se aprecia que en Sh1 sobrepasa los 210 mg/kg de Cu permitidos para suelos con pH mayor que 7 (BOE/262, 1990). En Sh3 el Mn sobrepasa el rango de 545 a 4000 mg/kg (Kabata y Pendias, 2000); mientras que los valores del Zn en los tres puntos de muestreo, superan enormemente los 300 mg/kg establecidos por Bernal *et al.* (2007). El contenido de Fe

en el suelo se encuentra dentro de los valores normales de entre 7000 a 550000 mg/kg (Bernal *et al.*, 2007); al igual que el Cr también es menor a 150 mg/kg para suelos con  $\text{pH} > 7$  (BOE/262, 1990) (Tabla 2).



**Figura 1.** Contenido de metales (mg/kg) de alto riesgo (A) y de bajo riesgo (B) en el suelo superficial del cerro "El Toro". (Escala logarítmica).

Por otro lado, en la búsqueda de plantas con potencial biorremediador, se ha observado que *B. triplinervia* y *L. pubescens*, colectados

en Sh1 (punto con mayor contenido de metales pesados), acumulan más metales que *B. libertadensis* y *S. oleraceus*, que habitan en Sh2 y Sh3 respectivamente; esto obedece a que la tolerancia a los metales se desarrolla en suelos con un alto contenido de metales pesados (**Tabla 3**) (**Ernst, 2005**).

**Tabla 2.** Contenido de metales en los suelos superficiales del cerro “El Toro”, que sobrepasan los ECA para suelo - 2017(color rojo)

PM	Sh1	Sh2	Sh3	MEDIA	D.E.
As	1014	146	168	442,7	494,9
Ba	563	376	308	415,7	132
Cr	56	35	41	44	10,8
Cu	485	154	137	258,7	196,2
Fe	1E+05	32638	31689	62599	52719
Mn	8495	4721	5673	6296,3	1963
Pb	7458	3736	4219	5137,7	2024
Zn	10463	8365	7004	8610,7	1743

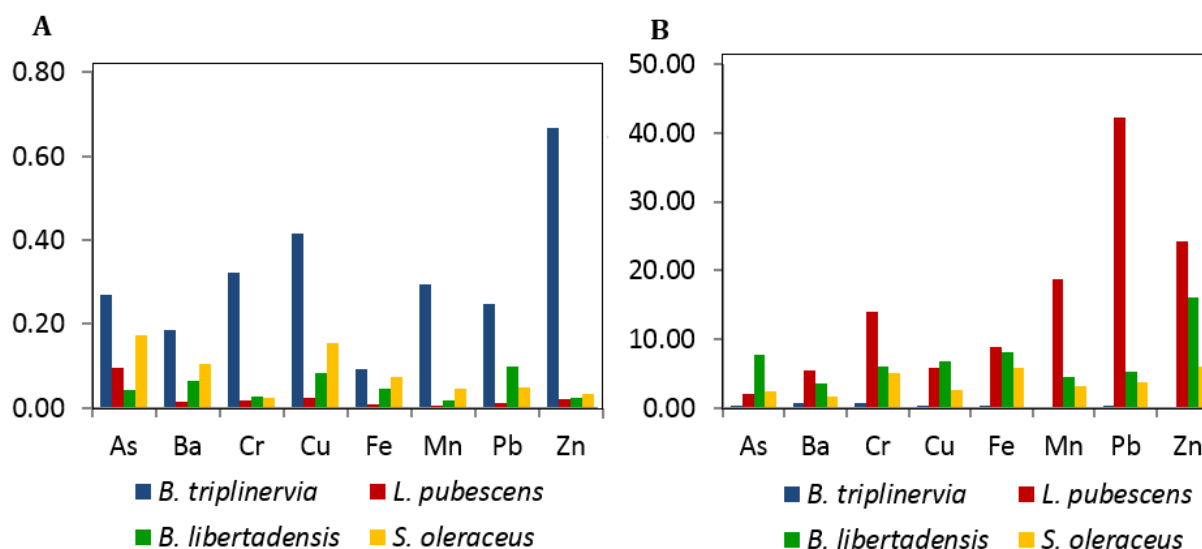
Así mismo, **Kabata y Pendias (2000)** y **Alkorta et al. (2004)** señalan que las plantas con potencial biorremediador deben cumplir dos requisitos: a) acumular elevadas concentraciones de metales pesados en su parte aérea, >100 mg/kg en el caso de Cd; >1000 mg/kg para Al, As, Co, Cu, Ni, Se, Pb y 10000 mg/kg de Zn y Mn (**Baker y Brooks, 1989**), y b) tener un FT > 1 (**Brooks, 1998**). Para **Sun et al. (2008)** también se debe considerar el índice de bioacumulación, el cual debería ser > 1 (**Brooks, 1998**).

Tomando en cuenta el primer requisito sólo *L. pubescens* y *B. libertadensis* han acumulado en su estructura aérea más de 1000 mg/kg de Pb, pero menor cantidad de los elementos restantes. Sumado a esto, observamos que el FT es mayor a 1, siendo *L. pubescens*, la planta con valores más altos, alcanzando 14, 18,7, 24,2 y 42,3 para Cr, Mn, Zn y Pb respectivamente. *S. oleraceus* también presenta un FT mayor a 1 siendo mayor para Zn. Este resultado evidencia que estas tres especies trasladan eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta (**Baker y Brooks, 1989**), por lo que pueden hiperacumular metales en la parte aérea (**Figura 2**).

*B. triplinervia*, presenta una estrategia de acumulación diferente, pues alberga mayores concentraciones de metales en sus raíces, y su FT es menor a 1, lo que significa que no trasfiere eficazmente los metales pesados de la raíz a la parte aérea de la planta, por lo que su potencial es la de fitoestabilizar metales en sus raíces (**Baker y Brooks, 1989**), evitando el paso de los metales a otro nivel de la cadena alimenticia; esta virtud es potenciada por ser una planta perenne con capacidad de autopropagación, configurándola como ideal para estudios de fitoestabilización de metales pesados mediante la revegetación de suelos contaminados principalmente con Pb y Zn.

**Tabla 3.** Contenido de metales (mg/kg) de 4 especies de plantas vasculares, colectadas en el cerro “El Toro”

EQ	ZONA	<i>Bidens triplinervia</i>	<i>Lepidium pubescens</i>	<i>Baccharis libertadensis</i>	<i>Sonchus oleraceus</i>
As	R	274	98	12	29
	PA	83	204	93	69
Ba	R	105	8	24	32
	PA	76	43	86	53
Cr	R	18	2	2	1
	PA	12	14	6	5
Cu	R	201	12	13	21
	PA	53	69	87	53
Fe	R	11316	916	1461	2306
	PA	3149	8100	11981	13401
Mn	R	2502	45	83	264
	PA	350	842	374	853
Pb	R	1855	87	271	212
	PA	472	3680	1452	815
Zn	R	6984	206	199	229
	PA	1049	4993	3183	1361
PM			Sh1	Sh2	Sh3



**Figura 2.** Factor de Bioacumulación (BF) (A) y Factor de Translocación (FT) (B) de las plantas vasculares del cerro “El Toro”.

### Conclusiones

Los suelos del cerro “El Toro”, presentan altos niveles de metales pesado, superando los estándares de calidad de la normatividad peruana e internacional.

Las plantas de *B. triplinervia*, *L. pubescens*, *B. libertadensis* y *S. oleraceus* son capaces de crecer en suelos con un altos contenidos de metales pesados, mostrando capacidad para acumularlos en sus tejidos.

*L. pubescens*, *B. libertadensis* y *S. oleraceus* acumulan mayor cantidad de metales en la parte aérea, por lo que son consideradas como hiperacumuladoras; mientras que *B. triplinervia*, tiene la capacidad de acumular mayor cantidad de metales en sus raíces por lo que se puede considerar como una alternativa para la fitoestabilización de suelo contaminados.

### Referencias bibliográficas

- Alcoba, P. 2014. Transferencia de elementos traza suelo-planta en suelos con influencia salina. Congreso Nacional de Medio Ambiente.
- Alkorta, I., Hernández, J., Becerril, J., Amezcua, I., Albizu, I.; Garbisu, C. 2004. Recent findings on the phytoremediation of soils contaminated with environmentally toxic heavy metals and metalloids such as zinc, cadmium, lead, and arsenic. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology* 3(1): 71-90.
- Asociación Civil Derecho & Sociedad. 2010. Conflictos Socioambientales. Revista Pólemos. Lima, Perú.
- Baker, A.; Brooks, R. 1989. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements – a review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1: 811-826.
- Bech, J.; Poschenrieder, C.; Barceló, J.; Lansac, A. 2002. Plants from mine spoils in the South American Area as Potential Sources of Germplasm, for Phytoremediation Technologies. *Acta Biotechnol* 22(1-2): 5-11.
- Bernal, M.; Clemente, R.; Walker, D. 2007. The role of organic amendments in the bioremediation of heavy metal-polluted soils. In: Gore, R.W. (Ed.), *Environmental Research*.
- Brooks, R. 1998. *Plants that hyperaccumulate heavy metals*. CAB International. Reino Unido.
- Casanova, H.; Gutiérrez, M. 2010. Calidad de ADN de personas impactadas por la minería artesanal en el cerro el Toro, Huamachuco, La Libertad 2010. I Congreso Latinoamericano de Ciencias Farmacéuticas, retos y realidades. Libro de Trabajo de Investigación. Cusco. Perú. (158-174).
- Duran, P. 2010. Transferencia de metales de suelo a planta en áreas mineras: Ejemplos de los Andes peruanos y de la Cordillera Pre-

- litoral Catalana. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.
- Ernst, W. 2005. Phytoextraction of mine wastes – Options and impossibilities. *Chemie der Erde* 65: 29-42.
- García, I.; Dorronsoro, C. 2005. Contaminación por metales pesados. En: *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola.
- Gonzaga, M.; Gonzaga, J.; Qiyang, L. 2006. Arsenic phytoextraction and hyperaccumulation by fern species. *Scientia Agrícola* 36: 90-101.
- IIMP (Instituto de Ingenieros de Minas del Perú). 2007. Minería ilegal en el Perú, Repercusiones Para el Sector Minero y el País. Trabajo de Investigación. Encuentro Empresarial: XXVII Convención Minera.
- Jara, E.; Gómez, J.; Montoya, K.; Chanco, M.; Mariano, M.; Cano, N. 2014. Capacidad fitorremediadora de cinco especies altoandinas de suelos contaminados con metales pesados. *Revista peruana de biología* 21(2): 145-154.
- Jara, E.; Montoya, H.; Sánchez, ti; Tapia, L.; Cano, N.; Dextre, A.; 2017. Metales pesados en Calamagrostis rigida y Myriophyllum quitense en cuatro humedales altoandinos del Perú. *Arnaldoa* 24(2): 583-598.
- Kabata, A.; Pendias, H. 2000. Trace Elements in Soils and Plants. (3<sup>rd</sup> edition) CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU. 412 pp.
- Mahecha, J.; Trujillo, J.; Torres, M. 2015. Contenido de metales pesados en suelos agrícolas de la región del Ariari, Departamento del Meta. *Orinoquia - Universidad de los Llanos - Villavicencio, Meta. Colombia* 19(1): 118-122.
- Marmiroli, B.; Somotokin, B.; Marmiroli, M.; Maestri, E.; Yanchuk, V. 2010. Capacity building in Phytotechnologies. In: *Application of Phytotechnologies for Cleanup of Industrial, Agricultural and Wastewater Contamination*. Ed. Kulakow, P. y Pidlisnuyuk, V. Springer, p: 15-24.
- McGrath, S.; Zhao, F. 2003. Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Current Opinion in Biotechnology* 14: 277-282.
- MINAM. 2017. D. S. 011-2017 – MINAM. Estándares de Calidad Ambiental para Suelo.
- Moreno, E. 2010. Recuperación de suelos mineros contaminados con arsénico Mediante fitotecnologías. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Departamento de Química Agrícola.
- Munive, R.; Loli, O.; Azabache, A.; Gamarra, G. 2018. Fitorremediación con Maíz (*Zea mays* L.) y compost de Stevia en suelos degradados por contaminación con metales pesados. *Scientia Agropecuaria* 9(4): 551-560.
- Peralta, M.; Volke, T. 2012. La defensa antioxidante en las plantas: una herramienta clave Para la fitorremediación. *Revista Mexicana de Ingeniería Química* 11(1): 75-88.
- Pérez, C.; Martínez, M.; García, M.; Bech, J. 2008. Uptake of Cd and Pb by natural vegetation in soils polluted by mining activities. *Fresenius environmental Bulletin* 17: 1666-1671.
- Pérez, J. 2011. Biodisponibilidad de Metales Pesados en Suelos Mineros Contaminados Enmendados con Materiales Orgánicos. *100cias@uned*. Nº 4 (nueva época).
- Pilon, E. 2005. Phytoremediation. *Annu. Rev. Plant. Biol.* 56: 15-39.
- Prasad, M. 2004. Fitorremediación. Aplicaciones, ventajas e inconvenientes. En: Reigosa M, Pedrol N, Sánchez A (Ed.) *La Ecofisiología Vegetal*. Thomson Editores. España.
- Sánchez, A.; González, M.; Carrillo, R. 2017. Absorber, Inmovilizar o atrapar: Funciones de las plantas en las remediaciones de sitios contaminados por elementos potencialmente tóxicos. *Agroproductividad* 10(4): 80-86.
- SPDA (Sociedad Peruana De Derecho Ambiental). 2014. La realidad de la minería ilegal en países amazónicos. Lima, Perú.
- Sun, Y.; Zhou, Q.; Diao, Ch. 2008. Effects of cadmium and arsenic on growth and metal accumulation of Cd-hyperaccumulator *Solanum nigrum* L. *Bioresource Technology* 99: 1103-1110.
- Zhi-xin, N.; Li-na, S.; Tie-heng, S.; Yu-shuang, L.; Hong, W. 2007. Evaluation of Phytoextracting cadmium and lead by sunflower, ricinus, alfalfa and mustard in hydroponic culture. *Journal of Environmental Sciences* 19: 961-967.