

# Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorun* L. (Poaceae)

## Phytoextraction of Pb and Cd, present in agricultural soils contaminated by heavy metals by the foxtail *Lolium multiflorun* L. (Poaceae)

***Félix Huaranga Moreno***

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

***Eduardo Méndez García***

Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Nacional de Trujillo  
emengar@hotmail.com // <https://orcid.org/0000-0002-9947-2301>

***Vito Quilcat León***

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo  
vitoql47@gmail.com // <https://orcid.org/0000-0003-1382-3324>

***Feliciano Bernui Paredes***

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo  
save@hotmail.com // <https://orcid.org/0000-0002-4696-2964>

***Noé Costilla Sánchez***

Facultad de Ingeniería Química, Universidad Nacional de Trujillo  
noecostilla@unitru.edu.pe // <https://orcid.org/0000-0002-0762-6271>

***Félix Huaranga Arévalo***

Agrosolutions S.R.L  
ricardohuaranga@hotmail.com // <https://orcid.org/0000-0002-7445-9696>

## Resumen

Los relaves mineros, es una de las más peligrosas formas de contaminación generadas por la explotación minera básicamente en las cabeceras de cuencas, y que afectan principalmente a los recursos hídricos y agrícolas; por lo que en la presente investigación se trata de cuantificar la absorción de los metales pesados Pb y Cd por el rabo de zorro *Lolium multiflorum* L. (Poaceae), utilizando suelos contaminados por material de relave que contienen metales pesados, provenientes de la zona de Samne, La Libertad, Perú. Para determinar la concentración de los metales pesados Pb y Cd, se utilizó la metodología de la espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados encontrados, indican que los valores de la concentración de los metales pesados absorbidos Pb y Cd, siguieron la siguiente tendencia:  $Pb > Cd$ , siendo el Pb, el que presenta mayor nivel de absorción a los 65, 95 y 125 días de experimentación.

**Palabras claves:** Relaves, Rabo de zorro, Metales pesados, Cuantificación.

## Abstract

Mining tailings, is one of the most dangerous forms of pollution generated by mining exploitation basically in the headwaters of basins, and that mainly affect water and agricultural resources; Therefore, in the present investigation we try to quantify the absorption of heavy metals Pb and Cd by the foxtail *Lolium multiflorum* L. (Poaceae), using soils contaminated by tailings material containing heavy metals, from the area of Samne, La Libertad, Peru. To determine the concentration of heavy metals Pb and Cd, the methodology of atomic absorption spectrophotometry was used. The results, indicate that the values of the concentration of heavy metals absorbed Pb and Cd, followed the following trend:  $Pb > Cd$ , being the Pb, the one that presents higher level of absorption at 65, 95 and 125 days of experimentation .

**Keywords:** Tailings, Fox tail, Heavy metals, Quantification.

**Citación:** Huaranga, F.; E. Méndez; V. Quilcat; F. Bernui; N. Costilla & F. Huaranga. 2021. Fitoextracción de Pb y Cd, presentes en suelos agrícolas contaminados por metales pesados por el rabo de zorro *Lolium multiflorum* L. (Poaceae). *Arnaldoa* 28(1): 149-162. doi: <http://doi.org/10.22497/arnaldoa.281.28109>

## Introducción

Los metales pesados son metales de masa atómica elevada por lo general del quinto o sexto período de la tabla periódica. Los metales son notables por su amplia gama de usos, su dispersión, su tendencia a acumularse en algunos tejidos del cuerpo humano y su potencial de ser tóxicos aun a niveles de exposición relativamente bajos (Hu, 2002).

Algunos metales como cobre y hierro son esenciales para la vida y juegan un papel importante en, por ejemplo, el funcionamiento de algunos sistemas enzimáticos. En cambio otros metales son xenobióticos, o sea, no tienen ningún uso en

los procesos fisiológicos y, como en el caso del plomo y cadmio, pueden ser tóxicos en cantidades imperceptibles. Aun los metales esenciales para el cuerpo humano, tienen el potencial de volverse dañinos si la persona es expuesta a altos niveles (Frazar, 2000; Alcorta *et. al.*, 2010).

El “U.S. Agency for Toxic Substances and Disease Registry” (ATSDR) enumera todos los peligros y daños presentes en desechos tóxicos de acuerdo a la severidad de su toxicidad. Según esta lista, en primer, segundo, tercer y sexto lugar se encuentran los siguientes metales pesados: plomo, mercurio, arsénico y cadmio, respectivamente (García & Dorronsoro, 2005).

La exposición a metales puede ocurrir a través de diversas maneras. Pueden ser inhalados como polvo o humo (por ejemplo, partículas de óxido de plomo en la combustión de gasolina con plomo); otros pueden ser evaporados y por consiguiente inhalados (mercurio en la producción de lámparas fluorescentes). Los metales también pueden ser ingeridos involuntariamente a través de comida o bebida. La cantidad que puede ser absorbida por el tracto digestivo depende de la forma o configuración química, la edad y el estado de nutrición de la persona. La excreción ocurre por medio de los riñones y el tracto digestivo, pero los metales tienden a persistir en sitios de almacenaje como el hígado, huesos y riñones y pueden permanecer ahí durante años o décadas.

Por ejemplo, el plomo en el suelo tiende a concentrarse en vegetales con raíz como la cebolla y es absorbido en mayor cantidad en individuos cuyas dietas son deficientes en calcio, hierro o zinc. La exposición a plomo puede desarrollar problemas de salud como convulsiones, coma, fallo renal y hasta la muerte dependiendo de la dosis. Los niños y los fetos aparecen particularmente vulnerables a efectos neurotóxicos por causa del plomo. Estudios han demostrado que mujeres embarazadas que tienen plomo almacenado en sus huesos muestran un movimiento acelerado de éste al torrente sanguíneo y a la leche materna lo cual está asociado a nacimientos de bebés con bajo peso y decrecimiento en la razón de crecimiento y del desarrollo mental (Campos, 1987).

Los metales pesados como el plomo y cadmio pueden alcanzar niveles de concentración que provocan efectos negativos en las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo como: reducción del contenido de materia

orgánica, disminución de nutrientes, variación del pH generando suelos ácidos, amplias fluctuaciones en la temperatura, efectos adversos en el número, diversidad y actividad en los microorganismos de la rizósfera, dificultan el crecimiento de una cubierta vegetal protectora favoreciendo la aridez, erosión del suelo, y la dispersión de los contaminantes hacia zonas y acuíferos adyacentes y como consecuencia aumenta la vulnerabilidad de la planta al ataque por insectos, plagas y enfermedades, afectando su desarrollo (Zhang *et al.*, 2000).

Actualmente existen estudios tendientes a resolver la contaminación originada por metales pesados en suelos, mediante estrategias basadas en el uso de plantas que tienen la propiedad de acumular metales pesados; proceso denominado "fitorremediación" que consiste en la remoción, transferencia, estabilización y/o degradación y neutralización de compuestos orgánicos, inorgánicos y radioactivos que resultan tóxicos en suelos y agua.

Esta novedosa tecnología tiene como objetivo degradar y/o asimilar, los metales pesados, presentes en el suelo, lo cual tiene muchas ventajas con respecto a los métodos convencionales de tratamientos de lugares contaminados; en primer lugar es una tecnología económica, de bajo costo, en segundo lugar posee un impacto regenerativo en lugares en donde se aplica y en tercer lugar su capacidad extractiva se mantiene debido al crecimiento vegetal (Harvey *et al.*, 2002).

La fitorremediación no es un remedio para todos los suelos contaminados, antes de que esta tecnología pueda volverse técnicamente eficiente y económicamente viable, hay algunas limitaciones que necesitan ser superadas como por ejemplo,

sus mecanismos tanto moleculares, bioquímicos y fisiológicos los cuales son pocos conocidos e insuficientemente entendidos, sin embargo, a pesar de esto un gran número de plantas hiperacumuladoras todavía pueden descubrirse e identificarse (Prasad & Freitas, 2003; Álvarez, 2008; Apacla & Peso, 2015).

No encontrándose investigaciones en nuestro país utilizando el rabo de zorro *Lolium multiflorum* como planta fitorremediadora de metales pesados como el Plomo y Cadmio; y siendo estos metales pesados altamente tóxicos y por estar contaminando a la mayoría de suelos de nuestro país debido a la explotación minera, por lo cual es de particular interés la realización de estudios de detoxificación de suelos utilizando a esta especie, lo que nos permitiría utilizarlo en el futuro como organismo biorremediador.

Cuantificar la concentración de los metales pesados Plomo y Cadmio absorbidos por la raíz, tallo y hojas del rabo de zorro *Lolium multiflorum* a partir de suelos agrícolas contaminados por 300 mg/kg de Plomo y 15 mg/kg de Cadmio a los 65, 95 y 125 días de crecimiento vegetativo.

## Material y Métodos

### Material de estudio

El material de estudio estuvo constituido por muestras de suelos agrícolas contaminados por 300 mg/kg de Plomo y 15 mg/kg de Cadmio en asociación con plántulas de rabo de zorro *Lolium multiflorum* generadas a partir de semillas obtenidas del campo experimental de Ecología de la Universidad Nacional de Trujillo, cuyo origen fue la Dirección Regional de Agricultura-Cajamarca.

## Procedimiento

### a. Obtención de las muestras de suelo.

La muestra de suelo fue colectada del campo experimental de Ecología de la Universidad Nacional de Trujillo. En el lugar se midieron los parámetros físicos de temperatura, humedad relativa y pH utilizando un medidor electrónico. Para coleccionar la muestra de suelos se utilizaron palanas jardineras y bolsas plásticas dobles estériles.

En el laboratorio se removieron todo tipo de material extraño, luego el remanente se tamizó con un tamiz de 2 mm de diámetro y guardado en bolsas plásticas estériles.

### b. Determinación de los grupos control y experimentales.

Se utilizaron como prueba control una muestra de suelo agrícola sin relave a la cual solo se le añadió la semilla del rabo de zorro *Lolium multiflorum* las que fueron procesadas de la misma forma que las muestras experimentales. Se prepararon dos grupos experimentales: de 300 mg/kg de suelos con Plomo y 15 mg/kg de Cadmio para determinar el grado de asimilación de los metales pesados Pb y Cd, a nivel de raíz, tallo y hojas, a los cuales se les agregó la semilla de rabo de zorro *Lolium multiflorum*.

A continuación, se prepararon sistemas experimentales con muestras de suelo con las correspondientes concentraciones de Plomo y Cadmio a los cuales se les colocó tres semillas de rabo de zorro *Lolium multiflorum*, así como un sistema control donde no se le agregó los metales pesados. Se determinó las concentraciones iniciales de los metales Pb y Cd presentes en el suelo, así como en las raíces, tallo y hojas, a los 65, 95 y 125 días de iniciado el experimento.

### c. Extracción de los metales

Para la extracción de los metales de la muestra de suelo y del tejido de raíz, tallo y hojas del rabo de zorro se siguió el protocolo propuesto por Aquino *et al.*, 1989: se pesan 3 g de muestra con relave y suelo o de tejido de rabo de zorro *Lolium multiflorum*, y luego se colocaron en el horno mufla durante 4 a 8 hrs. A 500 °C.

Inmediatamente luego de ser enfriados, se comienza con la digestión de la muestra. A cada crisol que contiene la muestra calcinada se le agregaron 3 ml de HCL concentrado, lavar y transferir la muestra a un vaso de precipitación de 50 ml. Luego añadir al crisol 1 ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y realizar un nuevo lavado. Finalmente agregar 3 ml de HCL 10 % y transferir al vaso de precipitación. A continuación filtrar en una fiola de 100 ml el contenido del vaso de precipitación utilizando papel whatman # 40.

Durante el proceso de filtración se lavará el residuo con HCL al 10 % hasta que quede incoloro. El papel filtro también se enjuagará varias veces con HCL al 10% hasta remover completamente todo el residuo. Terminada la filtración aforar a 100 ml con HCL al 10%. Por último, el filtrado se transferirá a botellas plásticas debidamente rotuladas y con tapa rosca para ser almacenadas hasta el momento de la lectura con el espectrofotómetro.

## Resultados

Los promedios obtenidos de los parámetros temperatura, humedad relativa y pH determinados al momento de la colección de la muestra de material de relave y muestra de suelo fueron los siguientes: a nivel de las relaveras, la temperatura fue de 23,8 °C, la humedad relativa fue de 60,0 % y el pH 6,4. Por su parte, en la zona de

toma muestra de suelo se determinó una temperatura de 24,8°C, humedad relativa de 69,0 % y un pH 6,8.

El rabo de zorro *Lolium multiflorum* mostró diferentes comportamientos en relación con la absorción de plomo y cadmio para cada una de las concentraciones experimentales. Para el plomo, en el material de experimentación la concentración inicial de este metal fue de 200,000 mg/kg. Luego al final de los 125 días la lectura del contenido máximo de plomo en el rabo de zorro fue de 32,951 mg/kg (16,47% de absorción) el cual se dio a los 95 días de experimentación y a nivel del órgano raíz. Mientras que la concentración mínima de este metal 1,545 mg/kg (0,77% de absorción) fue determinado a los 125 días de iniciado el experimento y en el órgano hoja.

**Cuadro 1.** Concentración de los metales pesados Pb y Cd, en muestra de suelos, provenientes de la zona de Samne, La Libertad – Perú.

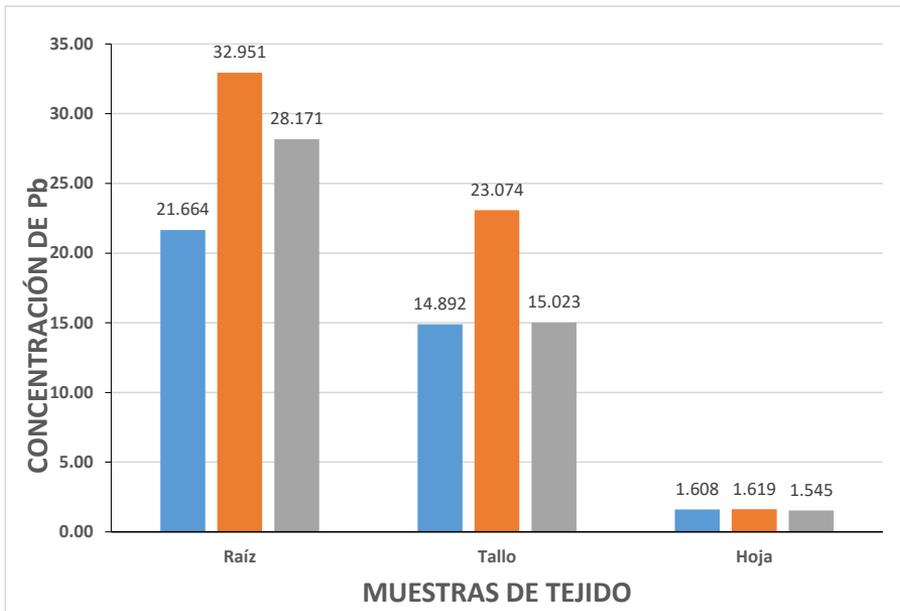
MUESTRA METAL	SUELO (mg/Kg)
Pb	200,000
Cd	15,000

En cambio para el caso del Cadmio, en el material de experimentación la concentración inicial de este metal fue de 15,000 mg/kg; encontrándose al final de los 125 días de experimentación que el contenido máximo de Cadmio en el rabo de zorro fue de 1,882 mg/kg (0,94 % de

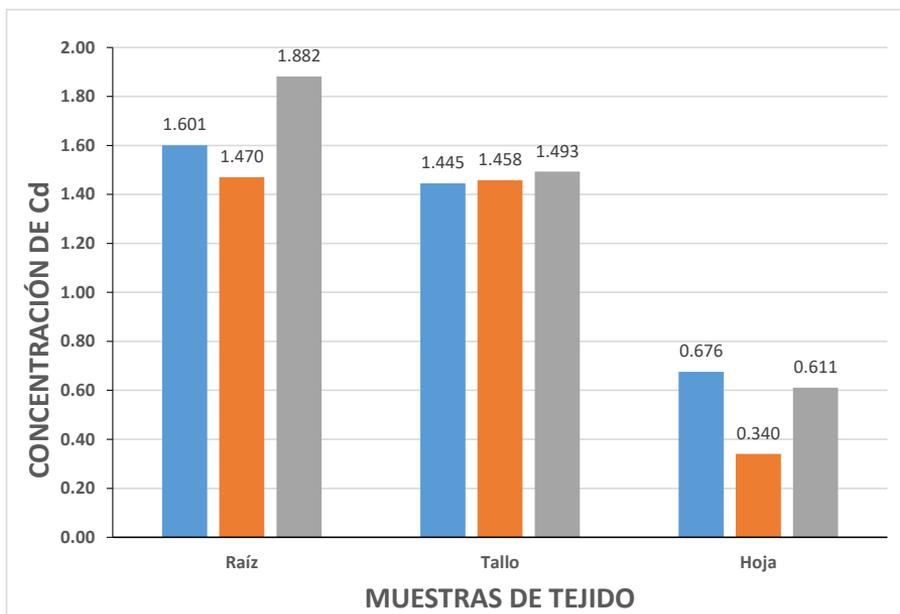
absorción) el cual se dio a los 125 días de experimentación y a nivel del órgano raíz. Mientras que la concentración mínima de este metal 0,340 mg/kg (0,17% de absorción) fue determinado a los 95 días de iniciado el experimento en el órgano hoja.

**Cuadro 2.** Concentración de los metales pesados Pb y Cd, a los 65, 95 y 125 días, en muestras de tejido de raíz, tallo y hojas del rabo de zorro *Lolium multiflorum*, cultivados en suelos contaminados por estos metales, a partir de relaves provenientes de la zona de Samne, La Libertad – Perú.

METAL MUESTRA	Pb 200,00 (mg/kg)	Cd 15,00 (mg/kg)
RAÍZ (65 días)	21,664	1,601
(95 días)	32,951	1,470
(125 días)	28,171	1,882
TALLO (65 días)	14,892	1,445
(95 días)	23,074	1,458
(125 días)	15,023	1,493
HOJA (65 días)	1,608	0,676
(95 días)	1,619	0,340
(125 días)	1,545	0,611



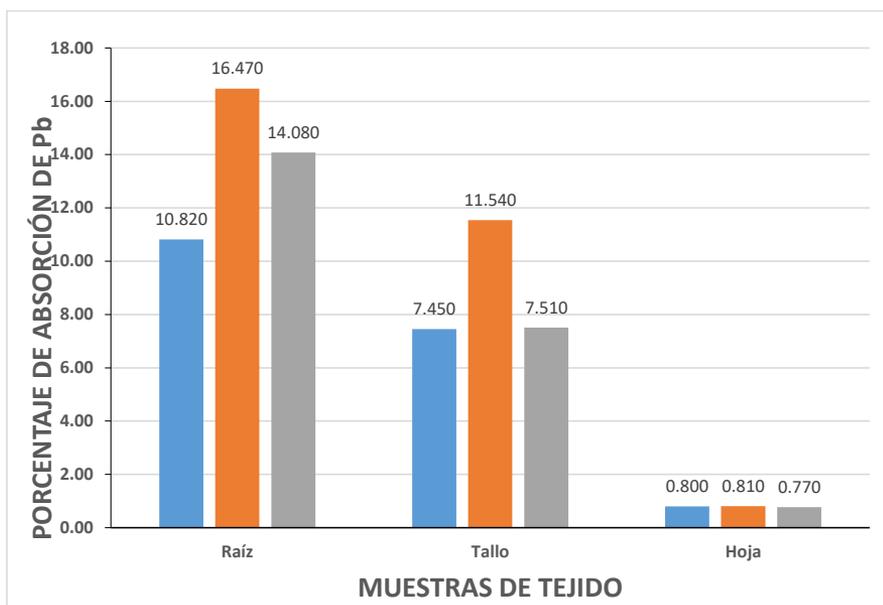
**Fig. 1.** Niveles de absorción comparativo de Pb en diversos órganos del rabo de zorro *Lolium multiflorum*.



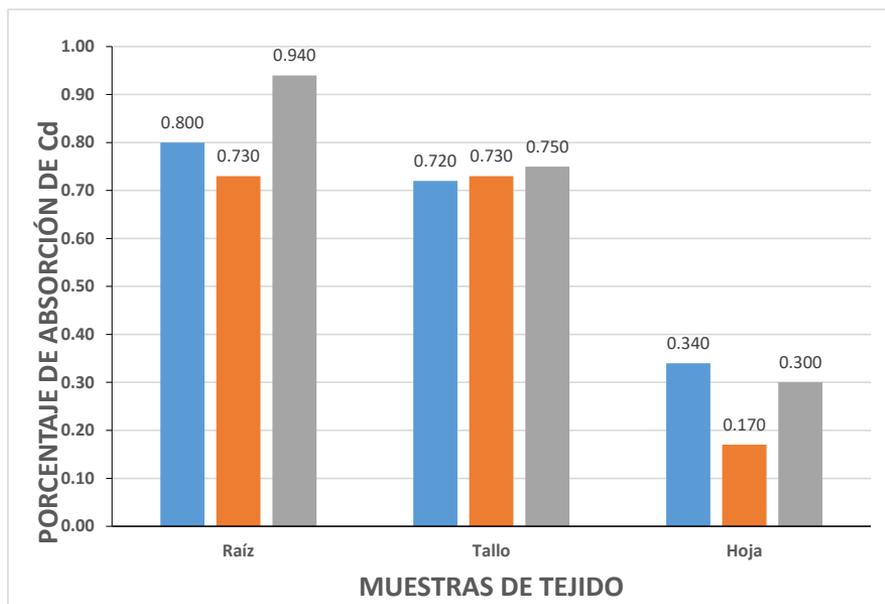
**Fig. 2.** Niveles de absorción comparativo de Cd en diversos órganos del rabo de zorro *Lolium multiflorum*.

**Cuadro 3.** Porcentaje de absorción de los metales pesados Pb y Cd, a los 65, 95 y 125 días, en muestras de tejido de raíz, tallo y hojas del rabo de zorro *Lolium multiflorum*, cultivados en suelos contaminados por estos metales, a partir de relaves provenientes de la zona de Samne, La Libertad - Perú.

METAL MUESTRA	% Ab.Pb	% Ab.Cd
RAÍZ (65 días)	10,82	0,80
(95 días)	16,47	0,73
(125 días)	14,08	0,94
TALLO (65 días)	7,45	0,72
(95 días)	11,54	0,73
(125 días)	7,51	0,75
HOJA (65 días)	0,80	0,34
(95 días)	0,81	0,17
(125 días)	0,77	0,30



**Fig. 3.** Porcentaje de absorción comparativo de Pb en diversos órganos del rabo de zorro *Lolium multiflorum*.



**Fig. 4.** Porcentaje de absorción comparativo de Cd en diversos órganos del rabo de zorro *Lolium multiflorum*.

### Discusión

La fitorremediación se fundamenta en la capacidad de algunas plantas para tolerar, absorber, acumular, metabolizar, volatilizar o estabilizar y degradar compuestos contaminantes, tanto orgánicos como inorgánicos. Esta tecnología se está aplicando en diversos países, con la finalidad de recuperar los suelos contaminados, ya que esta fitotecnología tiene muchas ventajas con respecto a los métodos fisicoquímicos (Garbisu *et al.*, 2008).

Medina & Montano (2014), sostienen que un sistema eficiente de fitorremediación requiere especies de plantas que satisfagan requisitos como la tolerancia a metales pesados y capacidad de acumulación (Absorción, detoxificación y secuestro). Además la planta ideal debería poseer la habilidad de sobrevivir a más de un metal en el medio de crecimiento, hecho que se

ha comprobado en la experiencia con la especie *Lolium multiflorum*.

Asimismo, los resultados obtenidos en la presente investigación, guardan relación con los encontrados por Cubillos (2011) y Delgadillo *et al.* (2011), sobre todo, en lo que concierne a los mecanismos fisiológicos implicados en la recuperación de los suelos contaminados por metales pesados, más aún también en lo relacionado a la absorción específica de los metales pesados por las raíces de las plantas y su acumulación en tallos y hojas, como los casos del Pb y Cd.

Por otro lado, hoy en día en investigaciones sobre mitigación de impactos ambientales fundamentalmente en áreas mineras, se están utilizando diversidad de plantas denominadas biorremediadoras, especialmente de las identificadas como malezas dentro de las cuales destaca el llamado rabo de zorro *Lolium multiflorum*, y donde se toman como

marcadores referenciales la biomasa de la planta, el número de hojas y la altura máxima de la planta como indicadores de toxicidad (Arienzo *et al.*, 2004; Pastor *et al.*, 2003).

El alto contenido fundamentalmente de Pb en los suelos de experimentación, produjo una clara toxicidad en esta especie (Anexo 3), donde se observa un escaso crecimiento de las plantas que sobrevivieron; comparativamente esta especie creció de forma adecuada en el grupo control.

Gough & Erdman (1979), afirman, que entre las respuestas fisiológicas de las plantas frente a los efectos de los contaminantes como los metales pesados se relacionan con cambios en los procesos respiratorios, disminución de la concentración de ATP, alteraciones en la fijación del nitrógeno, acumulación de los elementos tóxicos y perjuicio en la reproducción; en razón de que parte de estos procesos ocasionan lentamente cambios ultraestructurales y modificaciones observables al microscopio de luz, como el porcentaje de muerte o de plasmólisis celular.

Lo afirmado por Gough & Erdman (1979) y relacionado con la presente investigación, se observa a nivel de la plasmólisis celular, esto probablemente debido al efecto drástico de la absorción de los metales pesados a nivel de raíz, tallo y hojas; lo que como lo sostiene Prasad (2004) tienen un efecto posterior sobre la absorción de los metales por el rabo de zorro *Lolium multiflorum*.

Los resultados descritos en las Tablas 2 y 3, permiten observar que los valores de Pb son los que demuestran mayor absorción por parte del rabo de zorro *Lolium multiflorum* seguido del metal pesado Cd; resultado que nos confirma que este tipo

de malezas pueden ser utilizados como bioconcentradores y biorremediadores de ambientes terrestres contaminados por metales pesados, como lo sostienen Hawksworth & Rose (1976), Duffus (1983) y Simonson (1997).

Por otra parte, como es conocido, para calcular la capacidad hiperacumuladora de una planta como es el caso de *Lolium multiflorum*, se debe verificar, que tanto el factor de bioacumulación en la raíz como en la parte aérea, deben ser mayores a 1, por lo cual, se debe analizar éstas 2 partes de la planta. Asimismo, los factores de bioacumulación en la raíz (RAF), dieron valores mayores a 1, lo cual significa que la planta es acumuladora de Pb y por lo tanto el metal es translocado hacia la raíz. En el caso del Cd su valor en raíz es menor a 1 significando que la planta es excluyente y que por lo tanto las concentraciones de este metal se mantienen en el suelo, similares resultados fueron encontrados por Riffo (2016).

En cambio los factores de bioacumulación en la parte aérea (SAF) para concentraciones

determinadas, dieron valores mayores a 1 en el caso del tallo, y en el caso de la hoja menores a 1 para Pb, salvo durante el crecimiento a los 125 días donde todos los valores fueron menores a 1, lo cual significa que la planta es bioacumuladora también para el órgano tallo, con la salvedad que se satura conforme avanza el tiempo de crecimiento del vegetal. Comparativamente en el caso del Cd, al ser en todos los casos los valores menores que 1, tanto el tallo como la hoja son excluyentes de acumulación de este metal, y por lo tanto las mayores concentraciones se mantienen en el suelo, acumulando así, una menor cantidad de metales en la parte aérea. Estos resultados

guardan relación con los encontrados por Gutierrez-Gines et al. (2009).

El que no exista un alto grado de absorción de Pb y Cd, a partir de las concentraciones de estos metales presentes en el material de suelo contaminado por relaves y de suelos, estaría relacionado con el hecho que en una serie de especies vegetales, a nivel celular sufren la plasmólisis de sus células y por lo tanto tienden a disminuir la absorción de estos metales cuando se supera el umbral de absorción; sin embargo la ventaja estaría relacionado con los cientos de miles de este tipo de malezas que harían este trabajo en forma natural o artificial (McCune & Goward, 1995).

En forma preliminar se ha podido encontrar una correlación entre la cantidad de Plomo y Cadmio absorbidos por *Lolium multiflorum*, respecto al que se encuentra en el material de suelo contaminado por material de relave; encontrándose estos por encima de los valores máximos permisibles (Pb= 5 mg/kg y Cd = 0,05 mg/kg). Sin embargo por ser una especie silvestre y encontrarse casi en todos los ambientes terrestres de acuerdo con sus condiciones microclimáticas, puede ser utilizada como bioconcentradora y biorremediadora.

### Conclusiones

El valor promedio máximo de absorción de Plomo y Cadmio por el rabo de zorro *Lolium multiflorum* para la muestra de suelo contaminado por Pb y a nivel de raíz fue de 16,47%, mientras que para el Cadmio este se presentó a los 95 días, con un porcentaje de 0,94 %.

Se pueden seleccionar especímenes de la maleza rabo de zorro *Lolium multiflorum* como organismo biorremediador de suelos contaminados por Pb, debido a su poder de bioconcentración de este metal a nivel de raíz.

La relación de concentración de los metales pesados Plomo y Cadmio en orden de importancia es: Pb > Cd.

### Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de Trujillo, Dirección de Investigación, por financiar parte de la presente investigación a través del Fondo de Desarrollo Universitario a la Investigación, a la Dirección Regional de Agricultura-Cajamarca, por habernos proporcionado las semillas de *Lolium multiflorum*, Edgardo Donati, por sus comentarios y aportes a lo largo de la ejecución de la investigación y a Mercedes Chaman por la revisión del manuscrito.

### Contribución de los autores

F. H., E. M., V.Q., F. B., N.C & F. H.: Los autores realizaron las actividades de obtención del material biológico, experimentación, la redacción del manuscrito y aprobación del mismo.

### Conflicto de intereses

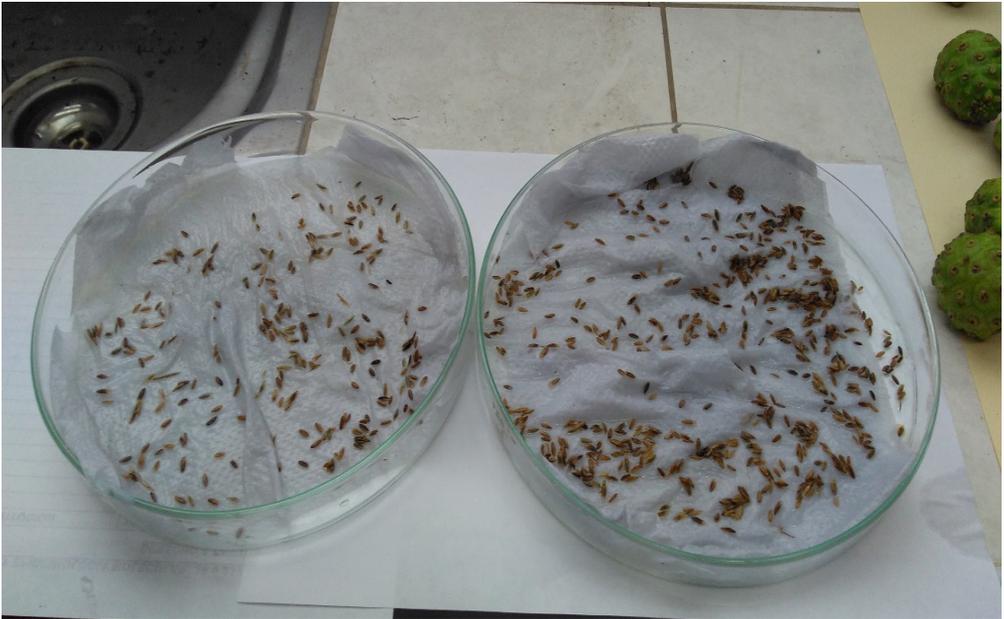
Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

### Literatura citada

- Alkorta, I; I. Becerril & C. Garbisu. 2010. Phytostabilization of metal contaminated soils. Reviews on Environmental Health, 25: 135-146.
- Álvarez, A. 2008. Productos naturales con fines terapéuticos comercializados en Venezuela Retel. Revista de Toxicología en Línea.
- Apaclla, R. & A. Pezo. 2015. Universidad Nacional De la Amazonia Peruana. Evaluación de metales en corteza de *Maytenus macrocarpa* (chuchuhuasi) de uso etnomedicinal en la región Loreto. Iquitos, Perú.
- Aquino, R; M. Camacho & G. Llanos. 1989. Métodos para análisis de agua, suelos y residuos sólidos. Instituto de Desarrollo y Medio Ambiente (IDMA). Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONCYTEC). Lima, Perú.

- Arianzo, M.; P. Adamo & V. Cozolino.** 2004. The potential of *Lolium perenne* for revegetation of contaminated soil from a metallurgical site. *Sci Total Environ.*, 319: 13-25.
- Campos, H.** 1987. Metales pesados, su contaminación y sus efectos tóxicos. *Revista Contaminación Ambiental*: 9 (17): 63 – 70.
- Cubillos, A.** 2011. Evaluación de la fitorremediación como alternativa de tratamiento de aguas contaminadas con hidrocarburos. Tesis de maestría. Universidad Tecnológica de Pereira.
- Delgadillo – López, A.; C. González-Ramírez; F. Prieto-García; J. Villagómez – Ibarra, & O. Acevedo-Sandoval.** 2011. Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. Artículo Tropical ans Subtropical Agroecosystems. Universidad Autónoma del Estado Hidalgo, Instituto de ciencias básicas e Ingeniería, Centro de investigaciones Químicas.
- Duffus, J.** 1983. Toxicología ambiental. Edic. Omega. Barcelona, España.
- Frazar, C.** 2000. Bioremediation and phytoremediation of pesticides contaminated sites. Prepair for US Environmental Protection Agency, Office of Solid Waste and Emergency Response, Technology Innovation Office. Washington, DC. <http://www.clu-in.org>
- Freitas, H; M. Prasad & J. Pratas.** 2004. Heavy metals in the plant community of Sao Domingo an abandoned mine in SE Portugal: Possible applications in mine remediation. *Environmental International*: 30 (1): 65-72.
- Garbisu, C.; L. Epelde & J. Becerril.** 2008. Fitorremediación. *Revista el ecologista* 57.
- García, I. & C. Dorronsoro.** 2005. Contaminación por metales pesados. En *Tecnología de Suelos*. Universidad de Granada. Departamento de Edafología y Química Agrícola. <http://edafologia.ugr.es/conta/tema15/introd.htm>.
- Gouch, L. & J. Erdman.** 1977. La influencia de una planta soporte en *Parmelia chlorochroa*. *The Bryologist*. 80:492-501.
- Guiñerrez-Ginés, M.; A. Hernández & J. Pastor.** 2009. Estudio del comportamiento de *Lolium perenne* L, en suelos del centro de España contaminados por metales pesados. OCMA, MNCN, CSIC. Madrid, España.
- Harvey, P; B. Campanella; P. Castro; H. Harms; E. Lichtfouse; A. Schäffner; S. Smrcek, & D. Werck-Reichhart.** 2002. Phytoremediation of polyaromatic hydrocarbons, anilines and phenols. *Environmental Science and Pollution Research*: 9: 29 – 47.
- Hawksworth, D. & L. Rose.** 1970. Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens. *Nature*. 227: 145-148.
- Hu, H.** 2002. Human health and heavy metals exposure. *The Environment and Human Health*. MIT Press: 33-36.
- Pastor, J.; A. Gutiérrez-Maroto & A. Henández.** 2003. Biomarcadores a nivel de una comunidad de pasto y de una población herbácea forrajera para suelos contaminados por cobre. *Anales de Biología*, 25, 103-108.
- Prasad, M.** 2004. Heavy metals stress in plants. Edit. Alpha Science Ltda. USA. 480 pp.
- Prasad, M. & H. Freitas.** 2003. Metal hyperaccumulation in plants biodiversity prospecting for phytoremediation technology. *Electronic Journal of Biotechnology*: 6 (3): 285– 321.
- Riffo, C.** 2016. Transferencia de metales opesados Cu, Pb, Zn, Ni, Co y Cr, de un suelo de la comuna de Talcahuano a las plantas *Salicornia fucosa* y *Lolium perenne*. Tesis para Optar el Título de Ing. Civil. Univ. de la Santísima Concepción. Chile.
- Simmons, I.** 1982. Ecología de los recursos naturales. Edic. Omega. Barcelona, España.
- Zhang, Q.; L. Davis & L. Erick.** 2000. Heavy Metal. In: *Hazardous Substance Res*: 2 (4):1

## ANEXO



**Anexo 1.** Germinación de las semillas del rabo de zorro *Lolium Multiflorum*.



**Anexo 2.** Proceso de experimentación del rabo de zorro *Lolium multiflorum* a los 65, 95 y 125 días.



**Anexo 3.** Crecimiento comparativo de *Lolium multiflorum* en relación con la concentración de Pb y Cd en suelos contaminados por relaves mineros, procedentes de la localidad de Samne, La Libertad –Perú.