

Estudio del efecto quelante de filtros naturales de arcilla sobre metales pesados; Pb y Hg para su aplicación en la remediación de suelos, conservación de aguas y biodiversidad

Study of the chelating effect of natural clay filters over heavy metals; Pb and Hg for their application in remediation of soils, wáter conservation and biodiversity

AVILÉS – María*¹, FLORES - Raymundo², FLORES – Gabriela³, FLORES – Paola⁴, FLORES – Mariana⁵ & ANTEZANA – Frankli⁶

1, 2, 3, 4, 5, 6 *Investigadores del Sur Bolivia Sin Fronteras IDSBOSIF, calle Topáter S/N teléfono 591-464-26825, celular 74303053, Sucre- Bolivia; HIDROHERBALES LAFARFICON.*

Recibido Junio 11, 2017; Aceptado Junio 12, 2018

Resumen

El objetivo del presente estudio fue determinar el efecto quelante de filtros de arcilla sobre los metales pesados plomo y mercurio para contribuir en la remediación, conservación de suelos, aguas y de la diversidad biológica de ecosistemas susceptibles de contaminación por vertidos mineros procedentes de la minería. Las variables evaluadas fueron: nivel de quelación de metales pesados por filtros de arcilla previo tratamiento de la misma con agente quelatador (EDTA) y sin agente quelatador. La capacidad quelante de la arcilla se evaluó mediante un ensayo, midiendo la cantidad de metal pesado atrapado en la arcilla; de forma general, se observó que la capacidad quelante de la arcilla pretratada presentó mejor efecto quelante sobre metales pesados Plomo (Pb) y Mercurio (Hg), obteniendo un resultado promedio para el Pb de 748,5mg Pb/kg en relación al promedio del resultado obtenido de la muestra sin agente quelatador que fue de 739 mg Pb/kg de Arcilla. En el caso del Hg, el efecto quelatador fue mayor con la arcilla pretratada, obteniéndose un resultado promedio de 729 mg Hg/kg de peso seco de arcilla y para la muestra no tratada de 715 mg/kg. Los datos fueron analizados estadísticamente mediante una prueba de T (ANOVA de un factor) los resultados obtenidos demostraron que el efecto quelante de la arcilla influye sobre los metales pesados independientemente al tratamiento con o sin agente quelatador, por lo que no existen diferencias significativas. Se debe incluir info acerca de lo que quiera discutir o concluir, al menos una línea

Palabras Clave

Metales pesados, plomo, mercurio, quelante, arcilla, conservación.

Abstract

The aim of this study was to determine the chelator effect of natural clay filters on the heavy metals lead and mercury, to assist in remediation and conservation of soil, water and biological diversity of ecosystems likely to be contaminated by mining discharges. The assessed variables were: the heavy metal chelation by clay filters prior to treatment with chelating agent (EDTA) and without chelating agent. The chelating capacity of the clay was preliminary evaluated by measuring the amount of heavy metal trapped in the clay; in general, it was observed that the chelating capacity of the clay pretreated (laboratory tests) showed a better chelating effect on the heavy metals: lead (Pb) and mercury (Hg), obtaining an average of 748.5 mg Pb / kg for lead in relation to the average obtained from the sample without a chelating agent (739 mg Pb / kg of Clay). In the same way was performed for the case of mercury (Hg), the result was higher for the pretreated clay with chelating agent, obtaining an average result of 729 mg Hg / kg dry weight of clay and the result for the untreated sample was 715 mg / kg.

The data were statistically analyzed by setting up a t-test (One-factor ANOVA) using Statistical Package for Social Sciences (SPSS 11.5), the results obtained demonstrated that the chelating effect of the clay on heavy metals, influences the treatment independently with or without chelating agent, so that there are not significant differences. Chelation of heavy metals (lead), $F(1,2) = 6.811$ p; 0.121 and (mercury) $F(1,2) = 10.889$ p; 0.081 (higher probability of 0.05 no significant differences).

Keywords

Metals, lead, mercury, chelation, clay, conservation

Citación: Avilés M, Flores R, Flores G, Flores P, Flores M & Antezana F Estudio del efecto quelante de filtros naturales de arcilla sobre metales pesados; Pb y Hg para su aplicación en la remediación de suelos, conservación de aguas y biodiversidad. Revista Ciencia, Tecnología e Innovación 2018, 16-17: 975-982

Introducción

Se estima que los suelos potencialmente contaminados en Bolivia en su gran mayoría presentan cantidades variables de metales pesados que son movilizados, principalmente, por diferentes actividades industriales y agrícolas. La legislación Boliviana en materia de contaminación Ley 1333 y sus reglamentos, obliga a la restauración de esos suelos mediante acciones que permitan extraer, controlar, contener o reducir los contaminantes de un área determinada. Dentro del amplio abanico de tecnologías existentes para la restauración de los suelos contaminados con metales pesados, la fitocorrección, que implica la utilización de plantas, se presenta como una técnica emergente que supone generalmente unos menores costes y una menor destrucción y alteración del medio. Sin embargo, todavía es una técnica que presenta grandes limitaciones que la convierten en un proceso lento y difícil de llevar a la práctica dada la competencia con otras técnicas usualmente empleadas. En concordancia con el grado de biodisponibilidad de los metales en el suelo, (*Cistus ladanifer*) o ládano especie fanerógama perteneciente a la familia Cistaceae presentó una acumulación acusada de Mn y Zn en poblaciones recogidas sobre suelos ácidos derivados de esquistos, con concentraciones en hoja de hasta 200 y 300 mg kg⁻¹ respectivamente, mientras que presentó cierta acumulación de Cr en poblaciones recogidas sobre suelos derivados de rocas ultrabásicas (peridotitas), con un máximo de 128 mg kg⁻¹ en hoja (Díaz et al., 2006). Experimentos llevados a cabo sobre disoluciones hidropónicas corroboraron, en adición, que *C. ladanifer* o (*Cistus ladanifer*) o ládano, especie fanerógama perteneciente a la familia Cistaceae podría acumular altos niveles de Cd, Co, Mn, Ni y Zn (por encima del 1%) en su parte aérea (Kidd et al., 2004; citado en DRAJG M, et al, 2016).

La bioremediación es una estrategia de remediación de sitios, que emplea plantas para eliminar los contenidos de suelo no volátiles e inútiles. Este proceso sostenible y de bajo costo está emergiendo como una alternativa viable a los métodos tradicionales de remediación de tierras contaminadas. (4)

Numerosos trabajos se han centrado en este aspecto mediante el estudio de columnas de lixiviado tras la adición de diferentes agentes quelantes, los quelantes son denominados también secuestrantes o antagonistas de metales pesados, son sustancias que forman complejos con iones de metales pesados. A estos iones se los conoce como quelatos, palabra que proviene de la palabra griega chele que significa “garra” y una de las aplicaciones de los quelantes es evitar la toxicidad de los metales pesados como es utilizado fundamentalmente el Etilen Diamin Tetracético (EDTA) y han puesto de manifiesto un amplio lavado de la mayor parte de los metales y quelantes (Sun et al., 2001; Madrid et al., 2003; Chen et al., 2004; Wu et al., 2004; Greman et al., 2003; Meers et al., 2005; Römkens et al., 2002; Chiu et al., 2005; Cooper et al., 1999 citados en Díez J., 2008) Algunos autores proponen como alternativa el empleo de ácidos húmicos exógenos que pueden formar complejos metálicos biodisponibles para las plantas mientras que, al mismo tiempo, estabilizan gran parte de los metales previniendo su movilidad ambiental (Srivastava et al., 1999; Halim et al., 2003; Evangelou et al., 2004; Clemente & Bernal, 2006 citado en Díez J., 2008) Sin embargo, la obtención de una cantidad suficiente de ácidos húmicos o ácidos orgánicos de bajo peso molecular para su utilización en fitoextracción supone un gasto económico que impide que puedan competir con los quelantes sintéticos que propusieron dividir la aplicación de agentes quelantes en dosis separadas, lo cuál reduce el lixiviado de metales, pero en ocasiones simultáneamente también reduce la eficacia de la fitoextracción (Gréman et al., 2001).

El control de la irrigación también fue propuesto por Kos & Lestan (2004), que probaron la eficacia de barreras permeables con materiales reactivos, vermiculita enriquecida en nutrientes, turba o hidrogel agrícola y apatito. Madrid et al. 2003 citado en Diez J., 2008) por su parte, propusieron la recogida del lixiviado enriquecido en metales utilizando un sistema de subirrigación-drenaje de dos cañerías. Todas estas técnicas, sin embargo, incrementan el coste de la fitoextracción y no evita el lixiviado provocado por la caída de la lluvia, por lo que parece que la fitoextracción inducida se presenta como una opción que se limita a aquellos lugares hidráulicamente aislados en donde no existe un flujo de aguas de entrada y salida en el sistema, debiéndose llevar a cabo, en cualquier caso, un control del movimiento de los metales pesados.

En este contexto, se planteó el presente trabajo con el objetivo de determinar el efecto quelante de las arcillas como filtros naturales, con metales pesados Pb y Hg, para contribuir en la conservación de suelos, aguas y de la diversidad biológica de ecosistemas susceptibles a ser contaminados por vertidos mineros del departamento de Potosí, para ello se llevaron a cabo diferentes campañas de muestreo y ensayos laboratorio para responder a los objetivos específicos, aclarando que no se procedió a la Caracterización del tipo de suelos de las áreas circundantes a los vertidos mineros, debido a que en la primera fase se realizó solo el estudio in-vitro del efecto quelante de la arcilla, dejando la caracterización para la continuidad del estudio en una segunda fase, basados en los resultados positivos de las propiedades quelantes de la arcilla, previa revisión. Bibliográfica y reconocimiento de puntos de muestreo en áreas circundantes a los vertidos mineros del Departamento de Potosí.

Para el estudio se utilizó el método experimental, un diseño unifactorial mediante el cual se evaluó las diferencias estadísticas del efecto quelante de la arcilla sobre metales pesados con dos niveles de tratamiento, Variable independiente VI, con y sin refuerzo quelatador y una variable dependiente VD. efecto quelante de la arcilla, Los resultados obtenidos demostraron que el grupo tratado con agente quelatador presenta mayor efecto quelante que el grupo no tratado (grupo control).

Hipótesis

El estudio del efecto quelante de la arcilla sobre metales pesados (Pb y Mg), sometida a un diseño unifactorial (prueba T), demostró que el grupo tratado con agente quelatador presenta mayor efecto quelante que el grupo no tratado (grupo control)

Materiales y métodos

Para el estudio se utilizaron los métodos documental y experimental, que consistió en búsqueda de la información pertinente, el método descriptivo, porque en base a los resultados se realizó la descripción del documento., El método experimental fue utilizado durante los ensayos de laboratorio, descrito en el procedimiento de la presente investigación.

Diseño experimental

Para evaluar las diferencias estadísticas del efecto quelante de la arcilla sobre metales pesados se utilizó un diseño ANOVA de un factor (prueba T).

Materiales

Los equipos utilizados durante la investigación fueron: Colorímetro de La Motte, destilador de agua, Microscopio, incubadora, refrigerador, balanza, estufa esterilizador en seco, material de laboratorio; vidrio, metálico (matraces, vidrios de reloj cilindros metálicos, espátulas, pipetas, etc.) material de escritorio, reactivos de Etilen Diamin Tetracético (EDTA), Nitrato de plomo, set para determinación de Pb y Hg.)

Procedimiento

1. Previo a los ensayos experimentales, se procedió a la recolección de muestras de arcilla procedente del río chico cuyas aguas proceden de los ríos Grande y Rodeo, de la Palma del Departamento de Chuquisaca para formar las capas sobre una estructura reproducida de suelo, la arcilla se recolectó cerca de la ribera del río, tomando en cuenta lugares donde el agua llega con frecuencia, produciéndose así un lavado natural. Las muestras colectadas fueron de cuatro puntos diferentes, los cuales fueron mezclados uniformemente para su posterior división por duplicado para los ensayos, con la finalidad de descartar posible contaminación cruzada con elementos químicos, partes de las muestras de arcilla fueron utilizadas para reproducir *ex situ* un suelo Franco 51%A/16% Y/33%L, sobre el cual se adicionó una capa de arcilla de 6 cm de alto

2. Para el estudio se utilizaron cajas de infiltración para la simulación de dos parcelas pequeñas en duplicado, se reprodujo por duplicado capas de suelo franco de 30 x 40, y 10 cm de alto sobre la cual se adicionó una capa de arcilla de 6 cm de alto, para el experimento una parte de arcilla fue pretratada con una solución de EDTA denominado también: Etilen Diamin Tetracético al 0,5% dividiéndola posteriormente en cuatro muestras 2 de las cuales fueron utilizados para la contaminación con una solución de plomo y las otras dos muestras para contaminarlas con una solución de mercurio, la otra capa se utilizó sin tratamiento alguno, la misma que fue también dividida en cuatro, Posteriormente se preparó una disolución acetato de plomo a una concentración de una disolución acetato de plomo al 1000mg/litro y una disolución de mercurio a 800 mg/litro, una vez obtenidas las disoluciones se aplicó por irrigación en cada parcela, las parcelas luego se controló el secado de las capas arcillosas a temperatura ambiente, cada 8 horas durante 96 horas, pasado ese tiempo se procedió al retiro de la capa arcillosa

la misma que se cuarteó antes de realizar el control analítico de los elementos químicos (plomo y mercurio), que fueron atrapados por la arcilla por otra parte se procedió a tomar las muestras del suelo franco para la verificación del paso de metales pesados, es decir para verificar el efecto quelatador de la arcilla por secuestro de metales pesados.

3. El control analítico de las muestras del suelo franco para la verificación del paso de metales pesados, y la verificación del efecto quelatador de la arcilla por secuestro de metales pesados, se realizó por el método (PAR) 4-(2-piridilazo)-resorcinol cuyo fundamento de la reacción se basa en que: Los iones de plomo (II) reaccionan a un pH de 9 con el 4-(2-piridilazo)-resorcinol (PAR) y forman un complejo rojo. Los resultados del análisis se midieron a 520 (nm) nanómetros. Los resultados se expresaron en mg de metal pesado/Kg o partes por millón de peso seco de arcilla, de esta manera se realizó la primera evaluación de la capacidad o propiedad queladora de las capas de arcilla utilizadas como filtros naturales, en el caso del mercurio se utilizó el método TMK . CODE 4861 que se fundamenta en que los iones de Mercurio forman un complejo coloreado a pH 3 con el reactivo 4,4'-bis (dimetil amino) Thibenzophenone (Thio Michler[^]ketone, TMK) lectura realizada a los 30 segundos en el colorímetro de La Motte.

Descripción de los Tratamientos

El trabajo se distribuyó de acuerdo al Diseño Experimental, para cada grupo (concentraciones de plomo; a1, a2 y concentraciones de mercurio b1 y b2 La tabla 2 demuestra la concentración de las soluciones utilizadas y la distribución de las muestras de suelo franco pos tratamiento con arcilla contaminada experimentalmente con soluciones de acetato de plomo y solución mercurial es decir concentraciones de solución A 1000 mg Pb/L y solución B: 800 mg Hg/l.

Análisis De Datos

Tabla 1. Distribución de las muestras de arcilla pretratada en las mismas condiciones de temperatura y PH (control hasta el secado total de la capa de arcilla)

Tratamiento A: Concentración de plomo en capa Arcilla (/Relc. En kg)

Tiempo de sacado	1.- A:1000mg Pb/l solución irrigadora			
	S/ Ag. Quelt. (pH 6-)		C/Ag. Quelt. 0.5% (pH6)	
	25 °C 1 a 1	25 °C 1 a 2	25° C 2 a 3	25 °C 2 a 4
96 horas	740	738	745	752

Observación A: Concentración de plomo en suelo franco pos aplicación de arcilla pretratada y retiro después del secado y evaluado de capa de arcilla Relc. En Kg.

Tiempo de sacado	1.- A: 1000 mg Pb/L en suelo franco pos aplicación y retiro del filtro arcilla			
	S/ Ag. Quelt. (pH 6-)		C/ Ag. Quelt. (pH6)	
	25 °C 1a5	25 °C 1a6	25°C 1a7	25 °C 1a8
96 Horas.	55	43	35	40

Tabla 2. Muestras de suelo franco después del agregado de la capa de arcilla irrigada con disoluciones de plomo y mercurio

Tiempo de sacado	2.- B: 800 mg Hg/l solución irrigadora			
	S/ Ag. Quelt. (pH 6-)		C/ Ag. Quelt. (pH6)	
	25°C 2b1	25 °C 2b2	25°C 2b3	25 °C 2b4
96 Horas.	712	718	726	732

Observación B: Concentración de mercurio en suelo franco pos aplicación de arcilla pretratada y retiro después del secado y evaluado de capa de arcilla

Tiempo de secado	1.- A: 800 mg Hg/L en suelo franco (Relc. En Kg pos aplicación y retiro del filtro arcilla)			
	S/ Ag. Quelt. (pH 6-)		C/ Ag. Quelt. (pH6)	
	25°C 2 b5	25°C 2b6	25°C 2 b7	25 °C 2 b 8
96 Horas.	57	47	41	39

Determinación de Pb (Método PAR)

Para determinar el contenido de plomo en las muestras propuestas. Paralelamente se realizó el análisis de una solución blanco de sólo los reactivos. Los resultados se expresaron en mg/Kg en relación de peso seco de la muestra.

La precisión del método se determinó mediante el análisis de Pb para cada parcela La técnica aplicada para el análisis de Pb, en cada muestra fue la del método (PAR) 4-(2-piridilazo)-resorcinol cuyo fundamento de la reacción se basa en que: Los iones de plomo (II) reaccionan a un pH de 9 con el 4-(2-piridilazo)-resorcinol (PAR) y forman un complejo rojo. Los resultados del análisis se miden a 520 (nm) nanómetros.

La determinación de la concentración de plomo por muestra (2 repeticiones) se realizó mediante el método PAR: método con el cual los iones de plomo (II) reaccionan a un pH de 9 con el 4-(2-piridilazo)-resorcinol (PAR) en la reacción y forman un complejo rojo. Lectura realizada a 520 nm por espectrofotometría.

La determinación de la concentración de plomo por muestra (2 repeticiones) fue realizada mediante el método TMK . CODE 4861 de LAMOTTE fundamentada en que: los iones de Mercurio forman un complejo coloreado a pH 3 con el reactivo 4,4!-bis (dimetil amino) Thibenzophenone (Thio Michler^ketone, TMK) lectura realizada a los 30 segundos en el colorímetro de La Motte.

Análisis estadístico

Para probar las diferencias entre los tratamientos utilizados se realizaron pruebas de Anova de un factor (Prueba T). Los datos se procesaron mediante diseño completamente al azar, análisis de varianza univariado. La digestión de la muestra no fue necesaria por haberse realizado el estudio un pH de 6 la técnica solo precisa la digestión de la muestra cuando el pH de la reacción experimental es de 9 (alcalino).

Resultados preliminares y discusión

De acuerdo a los resultados preliminares arrojados mediante el programa SPS 11,5 en el estudio del efecto quelante de la arcilla (caolinita) sobre metales pesados (Plomo y mercurio) las variables evaluadas fueron: quelación de metales pesados por filtros de arcilla previo tratamiento de la misma con agente quelatador y sin agente quelatador.

En el presente estudio, la capacidad quelante de la arcilla se evaluó midiendo la cantidad de metal pesado atrapado en la arcilla para el efecto la muestra colectada de arcilla (caolinita) se dividió en dos, una de las partes fue pretratada con un agente quelatador Etilen Diamino Tetracético (EDTA) supuestamente para mejorar la capacidad quelante de la arcilla y la otra parte sin agente quelatador, posteriormente las dos muestras sin y con agente quelatador fueron nuevamente divididas, pero esta vez cada una en cuatro partes para realizar las pruebas por duplicado para plomo y mercurio.

De forma general, se observó que la capacidad quelante de la arcilla para metales pesados (pruebas en laboratorio) en este caso al irrigar con soluciones de acetato de plomo 1000 ppm directamente sobre las capas filtro de arcilla con y sin tratamiento con agente quelatador, una vez seca las muestras de arcilla, estas fueron retiradas y sometidas a análisis en laboratorio para la determinación de plomo, observándose

que la muestra pretratada con agente quelatador atrapó mayor cantidad de plomo teniendo un resultado promedio de un estudio duplicado de 748,5 mg/kg en relación al promedio del resultado obtenido de la muestra sin agente quelatador que fue de 739 mg/kg de Arcilla, de igual manera se realizó para el caso de las muestras sin y con tratamiento con agente quelatador por duplicado para mercurio utilizando para el ensayo de irrigación una solución de 800 ppm sobre las muestras de arcilla el atrapamiento de Hg resulto mayor con la arcilla tratada con agente quelatador obteniéndose un promedio del ensayo duplicado de 729 mg/kg de peso seco de arcilla y los resultados para la muestra no tratada fue de 715 mg/kg en peso seco de arcilla.

De Acuerdo a los resultados arrojados por el programa de SPS 11,5 se tiene que el efecto quelante de la arcilla influye sobre los metales pesados independientemente al tratamiento con o sin agente quelatador, por lo que no existen diferencias significativas. Quelación de metales pesados (plomo); $F_{(1,2)}=6,811$ p; 0,121 y para $F_{(1,2)}=10,889$ p; 0,081 mercurio probabilidad mayor a 0,05 no existen diferencias significativas (ver siguiente cuadro de resultados de:

Tabla 3. Analisis de varianza; Determina la igualdad de medias intragrupos

ANOVA						
		Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Q.PB.ARC	Inter-grupos (Combinados)	90,250	1	90,250	6,811	,121
	Término lineal	90,250	1	90,250	6,811	,121
	Intra-grupos	26,500	2	13,250		
	Total	116,750	3			
Q.HG.ARC	Inter-grupos (Combinados)	196,000	1	196,000	10,889	,081
	Término lineal	196,000	1	196,000	10,889	,081
	Intra-grupos	36,000	2	18,000		
	Total	232,000	3			

En materia de Remediación de suelos, resulta ser que no puede aislarse acerca de la aplicación de alguno de estos ensayos estudiados, debido a que el recurso suelo está íntimamente relacionado con el recurso agua, el aire y la diversidad biológica que en ella vive e interactúa.

El sedimento de contaminación del metal pesado podría afectar la calidad del agua y la bioacumulación en organismos acuáticos, lo que podría implicar un potencial riesgo para la salud y ecosistema a largo plazo. (5 – 6) sin embargo el factor limitante en la mayoría es la aplicación de recursos naturales para subsanar de alguna manera en forma efectiva la contaminación por metales pesados con el uso de filtros naturales de arcilla para atrapar mediante su capacidad quelante determinados metales como (Pb y Hg) que si bien es un método de mayor coste debido a que supone movimiento de tierras, maquinaria y otros, mitigarían en mayor proporción la contaminación, en relación a la bioremediación (uso de bacterias y plantas hiperacumuladoras), que son técnicas de bajo costo pero a largo plazo, por el crecimiento lento de las mismas. Por lo que los resultados preliminares del presente estudio son muy prometedores por ser a corto plazo, eficaz aun sea éste de mayor coste.

Conclusiones y recomendaciones

Aunque los resultados preliminares obtenidos son promisorios se concluye que la arcilla (mezcla de silicatos) es capaz de quelar metales pesados independientemente al uso de agentes quelatadores por lo que se debe continuar profundizando estudios mucho más precisos, para determinar el efecto quelante de la arcilla, realizando ensayos experimentales no solo en las muestras de arcilla pretratada, sino también sobre la capa reproducida de suelo, sobre la cual se adicionó como una barrera la capa filtro de arcilla sin y con agente quelatador para valorar la cantidad de metales pesados que atravesaron o no por la capa filtro.

Asimismo se recomienda realizar estudios de aplicación en campo abierto para una mejor evaluación de las diferentes capas de suelo una vez realizado el confinamiento de suelo contaminado, previa aplicación de capas filtro de arcilla, por estratos, así como las capas de suelo orgánico para el cultivo de plantas tolerantes a

metales pesados aplicados sobre estos sistemas experimentales y evaluar el crecimiento de las especies vegetales utilizadas. Siendo la investigación a largo plazo se recomienda el apoyo de otros investigadores para lograr resultados eficaces en tiempo, cantidad y calidad de restauración paisajística, remediación y conservación de suelos, e espacios de cierre y futuro inducido de Rellenos sanitarios, botaderos clandestinos y a cielo abierto lo que repercutirá favorablemente también en la conservación del recurso agua y de la Biodiversidad en general.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

1. Javier Diez, Fitocorrección de suelos contaminados con metales pesados: evaluación de plantas tolerantes y optimización del proceso mediante prácticas agronómicas {tesis doctoral} España Universidad de Santiago de Compostela; 2008
2. Díaz López, Cristina, Carrión Jiménez, José Manuel, & González Bucio, José Luis. (2006). Estudio de la contaminación por Hg, Pb, Cd y Zn en la bahía de Chetumal, Quintana Roo, México. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 72(1), 19-31. Recuperado en 15 de febrero de 2018, de http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2006000100004&lng=es&tlng=es.
3. DRAJG Martínez y Draml Herrera, 2016 *Vicia faba* L.: Capacidad Bioindicadora de contaminación Por metales pesados academia.edu.
4. Khan *et al.*, 2000). Khan, A. G.; Kuek, C.; Chaudhry, T. M.; Khoo, C. S. y Hayes, W. J. 2000. Role of plants, micorrizae and phytochelators in heavy metal contaminated land remediation. *Chemosphere*, 41: 197-207. .

5. Raskin, I.; Kumar, P.B.A.N.; Dushenkov, S. y Salt, D.E. 1994. Bioconcentration of heavy metals by plants. *Current Opinion in Biotechnology*, 5: 285-290.
6. Raskin I. y B. D. Ensley (editores) (2000), *Phytoremediation of toxic metals: using plants to clean up the environment*, Wiley y Sons. phosphates' in biomineral formation. *Microbiology*, 146: 1855-1867.
7. Macías, Felipe. 1993. Contaminación de suelos: algunos hechos y perspectivas. En: Ortiz Silla, R., (Ed.),
8. Macías, F. 1996. Los suelos de mina: Su recuperación. En: Aguilar, J., Martínez, A. y Roca, A., (Eds.), Evaluación y Manejo de Suelos, pp. 227-243.
9. Enzymatically mediated bioprecipitation of uranium by a *Citrobacter* sp.: a concerted role for exocellular lipopolysaccharide and associated

MEMORIA FOTOGRÁFICA



Capa de suelo reproducido en cajas de infiltración Arcilla y arena micro-parcela



Filtro de arcilla sobre capa de suelo; Sin y con agente quelatador para PB



Capa filtro de Arcilla Cont. /Pb retirado Sin y con agente quelatador

Determinación de pb y hg en las capas filtro (reactivos lamotte)



Determinación Plomo

Lectorador: espectrofotómetro lamotte para metales



Determinación Mercurio

Agradecimientos

Sinceros a la empresa HIDROHERBALES LAFARFICON y al Centro de investigación IDSBOSIF por su apoyo financiero, moral, y material para el desarrollo preliminar del estudio.