



COMPARACIÓN EN LA EFICIENCIA DE DOS ESPECIES VEGETALES NATIVAS DE LA AMAZONIA ECUATORIANA BUCHÓN DE AGUA (*LIMNOCHARIS FLAVA*) Y MUÑEQUITA DE AGUA (*HYDROCOTYLE BONARIENSIS*) EN LA ABSORCIÓN DE PLOMO

COMPARISON IN THE EFFICIENCY OF TWO NATIVE VEGETABLE SPECIES OF THE ECUADORIAN AMAZONIA BUCHÓN DE AGUA (*LIMNOCHARIS FLAVA*) AND WATER DOLL (*HYDROCOTYLE BONARIENSIS*) IN THE ABSORPTION OF LEAD

Luis Miguel Santillán Quiroga,
luis.santillanquiroya@esepoch.edu.ec,
Master en Ingeniería para el Ambiente y el Territorio.

Jennifer Alexandra Orejuela Romero,
jenn_alex28@hotmail.com;
Ingeniería en Biotecnología Ambiental.

Marcela Yolanda Brito Mancero,
marcelabritom@hotmail.com;
Magister en Agricultura Sostenible.

Hugo Segundo Calderón,
hugoscalderon@yahoo.es;
Máster en Protección Ambiental.

Para citar este artículo puede utilizar el siguiente formato:

Luis Miguel Santillán Quiroga, Jennifer Alexandra Orejuela Romero, Marcela Yolanda Brito Mancero y Hugo Segundo Calderón (2018): "Comparación en la eficiencia de dos especies vegetales nativas de la Amazonia ecuatoriana buchón de agua (*limnocharis flava*) y muñequita de agua (*hydrocotyle bonariensis*) en la absorción de plomo", Revista Caribeña de Ciencias Sociales (noviembre 2018). En línea

[//www.eumed.net/rev/caribe/2018/11/eficiencia-especies-vegetales.html](http://www.eumed.net/rev/caribe/2018/11/eficiencia-especies-vegetales.html)

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue determinar la capacidad de absorción de dos especies vegetales Buchón de agua (*Limnocharis Flava*) y Muñequita de agua (*Hydrocotyle Bonariensis*) en aguas contaminadas con plomo, se contaminó 10L de agua destilada con 0,16; 0,32 y 0,48g de Pb (NO₃)₂ para llegar a 10, 20, y 30 ppm de concentración y evaluar la capacidad de absorción. Se colocó el agua directamente en los recipientes y se realizó un análisis inicial y final transcurrido 60 días en el agua, suelo y planta; se determinó Pb. Los datos se tabularon con el método de Chi-cuadrado. Los resultados de las concentraciones iniciales de Pb en las muestras de agua contaminada fueron de R-10-BA; MA (9,92); R-20-BA; MA (19,97) y R-30-BA; MA (29,90 ppm). Las concentraciones finales de

Pb en el humedal con la especie vegetal Buchón de agua fueron de 1,3 ppm, 2,96 ppm, 6,78 ppm respectivamente y en el humedal tratado con muñequita de agua la concentración final fue de 0,4 ppm, 1,19 ppm y 3,38 ppm. Las concentraciones finales de plomo con el tratamiento de la especie vegetal buchón de agua (*Limnocharis Flava*) R-10-BA mostró una absorción de 86%, seguido del tratamiento de R-20-BA con una absorción de 85% y de R-30-BA cuyo resultado presentó una absorción de 77%; para Muñequita de agua (*Hydrocotyle Bonariensis*) R-10-MA logró una absorción de 96%, seguido del tratamiento R-20-MA con una absorción de 94% y R-30-MA con una absorción de 89%, presentando esta última una mayor absorción, concluyendo es la especie apropiada para el tratamiento de aguas contaminadas con Pb.

Palabras claves: buchón de agua (*limnocharis flava*), muñequita de agua (*hydrocotyle bonariensis*), plomo, capacidad de absorción, humedal.

ABSTRACT

The objective of the present work was to determine the absorption capacity of two vegetable species Water hyacinth (*Limnocharis Flava*) and Water doll (*Hydrocotyle Bonariensis*) in waters contaminated with lead, 10 L of distilled water was contaminated with 0.16; 0.32 and 0.48 g of Pb (NO₃)₂ to reach 10, 20, and 30 ppm concentration and evaluate the absorption capacity. The water was placed directly in the containers and an initial and final analysis was carried out after 60 days in the water, soil and plant; Pb was determined. The data were tabulated with the Chi-square method. The results of the initial concentrations of Pb in the samples of contaminated water were of R-10-BA; MA (9.92); R-20-BA; MA (19.97) and R-30-BA; MA (29.90 ppm). The final concentrations of Pb in the wetland with the plant species Water hyacinth were 1.3 ppm, 2.96 ppm, 6.78 ppm respectively and in the wetland treated with water doll the final concentration was 0.4 ppm, 1.19 ppm and 3.38 ppm. The final concentrations of lead with the treatment of the water hyacinth species (*Limnocharis Flava*) R-10-BA showed an absorption of 86%, followed by the treatment of R-20-BA with an absorption of 85% and R-30-BA whose result presented an absorption of 77%; for Water doll (*Hydrocotyle Bonariensis*) R-10-MA achieved an absorption of 96%, followed by the R-20-MA treatment with an absorption of 94% and R-30-MA with an absorption of 89%, presenting the latter a greater absorption, concluding is the appropriate species for the treatment of water contaminated with Pb.

Key Words: water buzzard (*limnocharis flava*), water doll (*hydrocotyle bonariensis*), lead, absorption capacity, wetland.

Códigos de clasificación JEL: Q0 Generalidades; Q20 Generalidades

INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la preocupación por los problemas de contaminación ambiental se ha ido incrementando en todos los ámbitos productivos e industriales. Todas las actividades que sustentan el desarrollo económico de la sociedad, desde las actividades industriales a las explotaciones mineras pasando por la agricultura y con ello el vertido de residuos, ocasiona que se libera elementos no deseados que modifican las propiedades físicas, químicas o biológicas naturales del agua.

El Plomo es un mineral que existe naturalmente en la corteza terrestre, tiene la capacidad de formar sales, óxidos y compuestos organometálicos, es tóxico para la mayoría de organismos vivos por sus efectos sobre el sistema nervioso, se acumula en el organismo hasta que alcanza niveles tóxicos y produce sus efectos. El hombre lo ha empleado desde la antigüedad, esto provocó su esparcimiento al medio ambiente de muchas formas.

El plomo llega al agua desde la superficie o sedimentos que se encuentran dispersos en el ambiente, el agua residual de industrias que manejan plomo (principalmente las industrias de hierro, acero y las que manufacturan plomo), agua de escorrentía en centros urbanos, aguas de la industria petrolera cuya composición depende de la estereología local, que puede incluir metales pesados, sustancias radioactivas u otros elementos contaminantes.

Varias de las prácticas operacionales de la industria petrolera utilizan grandes cantidades de agua, la misma que es tomada libremente de los ríos y esteros aledaños. El agua cercana a una operación petrolera recibe distintos tipos de contaminantes: rípios de perforación, lodos de perforación, aguas de

formación, lluvias ácidas contaminadas por la quema de gas. La normativa para las aguas provenientes de las petroleras (RAOHE Tabla 4a.) señala como límites permisibles de descarga de efluentes que contienen plomo debe ser $<0,5$ mg/l.

El problema nacional, mundial de contaminación y afectación al ambiente radica en que existen una gran variedad de actividades humanas que emplean elementos que incluyen metales pesados, lo cual produce una gran contaminación al ambiente.

Al existir estos problemas hacia el medio ambiente y afectaciones al ser humano se ve la necesidad de realizar esta investigación, con el propósito de reducir la concentración de metales pesados presentes principalmente en el agua y el suelo. Combinando varias tecnologías como la fitorremediación se puede mejorar la eficiencia de tratamientos y reducir los problemas ambientales.

De estudios anteriores se conoce que algunos sistemas de humedales han logrado proporcionar un tratamiento integral, en el cual no solo se remueven eficientemente materiales orgánicos y sólidos suspendidos, sino, también se ha logrado reducir nutrientes, sales disueltas, metales pesados y organismos patógenos. Combinando diferentes tecnologías como la utilización de humedales y fitorremediación, se ha logrado mejorar la eficiencia de tratamientos y reducir los niveles de Pb.

Esta investigación tiene como finalidad aplicar un método experimental para reducir el plomo en aguas contaminadas con metales pesados empleando las especies vegetales Buchón de agua (*Limnocharis Flava*) y Muñequita de agua (*Hydrocotyle Bonariensis*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sistema humedales artificiales

Después de haber investigado se optó por humedales artificiales de flujo superficial los cuales se adecuaron para sembrar las especies vegetales, todos los recipientes tuvieron las mismas adecuaciones.

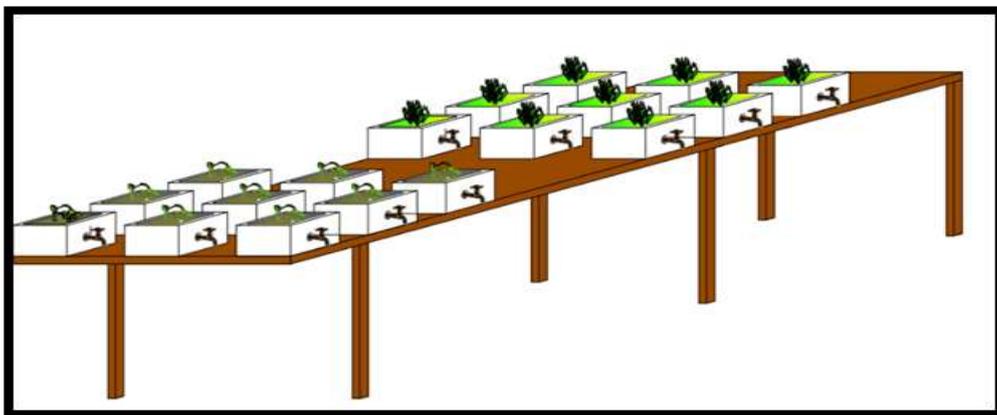


Gráfico 1: Humedales artificiales con *Limnocharis F.* y *Hydrocotyle B.*

a. Materiales empleados

Para realizar la adaptación de los recipientes se necesita los siguientes materiales:

- 18 bandejas plásticas de 0,55 m de largo, 0,40 m de ancho y 0,2 m de alto.
- Unión de rosca de $\frac{1}{2}$ pulgada.
- Teflón.
- 18 Grifos de plástico.
- Pegamento.
- Cautín.

b. Proceso de adaptación de los recipientes

- Para el proceso de adaptación de los recipientes se realizó un orificio con la ayuda de un caudín.

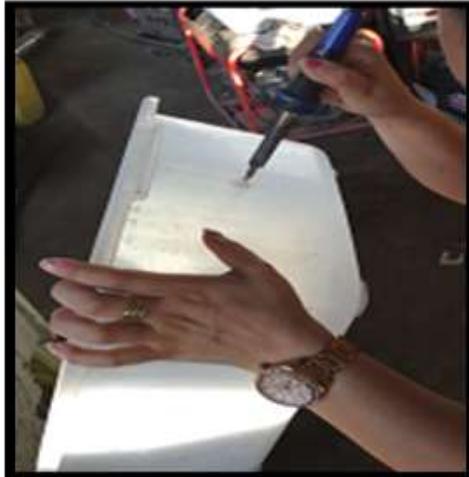


Gráfico 2: Perforación del recipiente con el caudín.

- Una vez realizada la perforación se colocaron grifos de plásticos de ½ pulgada.



Gráfico 0: Adaptación de la llave plástica.

- Finalmente se colocó una rosca de media pulgada para asegurar la llave y una cierta cantidad de pegamento para evitar que exista fuga de agua.



Gráfico 4: Colocación de la rosca y pegamento.

Preparación de los medios físicos

- **Preparación de los recipientes**

Una vez que los recipientes fueron adecuados se colocó 11 kg de suelo con un espesor de 0,07 m y se procedió a sembrar las plantas en línea recta a una distancia 0,1 m.



Gráfico 5: Colocación de suelo en los recipientes.

- **Transporte y preparación de la especie vegetal**

Una vez que se seleccionaron las especies vegetales a utilizar se procedió a ejecutar la cosecha, plantas en etapa de crecimiento es decir plantas jóvenes las cuales presentan ventajas frente a plantas adultas como mayor aprovechamiento de nutrientes e impide el riesgo de muerte de las especies vegetales.

Posteriormente se realizó la limpieza de las plantas para eliminar sedimentos contenidos en las raíces de las plantas.

Siembra y adaptación de la especie vegetal a los recipientes

Al inicio las plantas se sembraron a una distancia de 0,2 m pero no fue lo correcto debido a que se necesitaba que las raíces se unan entre ellas y cubran la superficie del suelo de los recipientes y absorban el contaminante, es por ello que se optó por sembrarlas a 0,1 m las especies vegetales modelo denominado Sembrado por Área sugerido por Sherwood C. Reed en el libro Natural Systems for waste Management and Treatment.

Se determinó mediante la fórmula de sembrado por área:

$$N = \frac{\text{Área}}{d}$$

N= Número de plantas.

Área= área del recipiente.

d= Distancia entre plantas

$$N = \frac{2 \text{ m}^2}{0,1 \text{ m}^2} = 20 \text{ plantas}$$

Se sembró 20 plantas de cada especie en el recipiente.



Gráfico 6: Siembra de la especie vegetal *Limnocharis flava*.

Fase de adaptación

El proceso de adaptación de las plantas se llevó a cabo por 7 días, en los cuales los recipientes plásticos tenían suelo arcilloso propio del lugar donde fueron recogidas, procurando que sean manejadas en iguales condiciones, es decir que tengan suelo y agua sin contaminación de plomo, y reciban la radiación del sol.



Gráfico 7: Adaptación de *Limnocharis* e *Hydrocotyle* a 10 ppm de Pb.

Preparación del medio líquido

Para la preparación del medio líquido se utilizó una sal inorgánica de nitrato de plomo, el cual es un polvo blanco, soluble en agua.

a. Materiales

- Balanza analítica
- Papel aluminio
- Guantes

b. Reactivo

- Nitrato de plomo
- Agua destilada

Aireación

La aeración de los humedales se dio mediante el oxígeno que se aporta de forma espontánea por transporte desde la atmósfera, lo que presenta un ahorro importante de energía por prescindir de aireación con procedimientos mecánicos. El aporte de aireación es espontáneo.

La exposición del agua a la atmósfera hace que el diseño adecuado de estos sistemas sea crucial para evitar problemas derivados de una posible sobrecarga del sistema, tales como aparición de olores y plagas de insectos (Sanz, J 2009).

Cambios aparentes en la planta

Las plantas emergentes contribuyen de muchas maneras para el tratamiento de aguas contaminadas, una de ellas es influenciada por las raíces las cuales extraen los nutrientes y sustancias tóxicas hacia todo su sistema y a su vez compactan el lecho dándole estabilidad.

Las plantas presentarán diferentes mecanismos de remoción como intercambio iónico, asimilación del contaminante, lo cual podrá afectar las características morfológicas de las plantas, en el presente trabajo investigativo se observará diariamente el número de hojas con clorosis, su vigorosidad y hasta la mortalidad de cada planta.

Análisis probit sobre la influencia del Plomo en el vigor de la planta

Se medirá la intensidad del estímulo y la proporción de respuesta, el cual es influenciado por los diferentes niveles de plomo.

Se identificará las hojas que presenten una clorosis o necrosis de la planta, en la cual se aplicará la relación entre dosis letal y mortalidad de las plantas.

La primera vez que se empleó la regresión probit fue en la década de los 30 para determinar que concentración de pesticida era eficaz para terminar con plagas de insectos que atacaban a cultivos (Bliss Cl. 1934)

Esta se analizará mediante la siguiente fórmula:

$$p = \left(\frac{r}{n} \right) \times 100$$

p: porcentaje de efecto.

n: número de especies.

r: número de especies muertas o afectadas.

La representación gráfica se dará entre el porcentaje de efecto (p) vs concentración de la sustancia o dosis.

Variables de control del lugar

- **Temperatura**

Corresponde a los valores señalada en un termómetro expuesto al aire y protegido de la radiación solar directa. Se mide en grados Celsius y decima de grado.

- **Humedad relativa**

Es un parámetro que determina el grado de saturación de la atmósfera. La humedad relativa del aire húmedo con respecto al agua, es la relación entre la fracción molar del vapor de agua en el aire y la fracción molar correspondiente si el aire estuviese saturado con respecto al agua, a una presión y una temperatura dada. Su unidad de medida es el porcentaje, mientras más alto sea el porcentaje, mayor es el grado de saturación de vapor de agua en la atmósfera.

Monitoreo y control de temperatura y humedad relativa

El monitoreo de la temperatura y humedad relativa del lugar se realizaron diariamente, en las cuales se iba anotando los datos para tener un control de la zona.

- **Monitoreo de temperatura**

Se realiza con un termómetro cuyo depósito o bulbo está desnudo e indica la temperatura del aire. Este dispositivo utiliza la diferencia de dilatación del líquido (mercurio en este caso), y el de vidrio que lo contiene para poder medir la temperatura del aire en grados Celsius y decimas de grado.

Para evitar la influencia de la radiación directa, reflejada y difusa en el termómetro, se coloca protegido en un abrigo meteorológico, a dos metros de altura, de acuerdo con las normas técnicas de OMM.

- **Monitoreo de la humedad relativa**

Se utiliza un psicrómetro el cual mide la humedad de la atmósfera, punto de rocío y tensión de vapor. Está formado por dos termómetros idénticos, cuyos depósitos se mantienen, el uno seco y el otro húmedo cubierto por una película fina de agua.

Con un higrógrafo se registra de manera gráfica las variaciones de la humedad relativa del aire durante un tiempo determinado, el Inamhi usa registro en fajas de duración semanal. Se usa este dispositivo ante la incapacidad del ser humano de estar observando de manera continua la variación de la humedad relativa durante el tiempo.

1.1.1. Seguimiento de las unidades experimentales

Se realizó una etiqueta de códigos a cada recipiente para poder identificar con facilidad la concentración y tipo de planta que se encuentra dentro de ella.

El seguimiento de las plantas *Limnocharis Flava* y *Hydrocotyle Bonarienses* se realizó durante 2 meses sobre el comportamiento de las especies vegetales en las diferentes concentraciones de plomo en las que fueron sembradas.

1.1.2. Métodos analíticos de laboratorio para la caracterización del agua

- **Método Potenciométrico**

El pH de una muestra se determina electrométicamente usando un electrodo de vidrio con uno de referencia, o un electrodo internamente combinado. La fuente de medición es calibrada usando una serie de soluciones estándares de pH conocido.

Equipos y Materiales.

- pH-Metro de electrodo combinado con compensación automática de temperatura. Equipo EI/27.
- Vasos de precipitación o plásticos.
- Soluciones buffer con valores de pH 4, Y 7 para ajuste (estandarización) del instrumento.
- Soluciones buffer calibradas y con incertidumbre conocida, con valores de pH 4 y 7, para verificación del instrumento y control de calidad.

Preparación.

Las muestras deben analizarse tan pronto como sea posible.

Las muestras y los estándares de calibración deben estar a temperatura ambiente, para luego proceder a la verificación del estado de calibración del equipo y medición de las muestras. La verificación del equipo es fundamental antes de proceder al ensayo de una muestra.

Medición.

1. Coloque en un vaso de vidrio o plástico limpio un volumen de muestra suficiente como para cubrir al electrodo de vidrio.
2. Sumergir los electrodos en la muestra y suavemente revuelva a una velocidad constante para proporcionar la homogeneidad y suspensión de los sólidos, y esperar hasta que la lectura se estabilice.
3. Anote el valor de la lectura de pH en el Protocolo de trabajo (PEE0201-01).
4. Para la medición del pH en otras muestras, enjuague el electrodo quitar la gota de agua de la punta del electrodo con papel adsorbente y repita los pasos anteriores.

Tratamiento de resultados.

En la determinación del pH no se requiere cálculo alguno, el valor se obtiene directamente del pH-Metro. Las variaciones de temperatura de la muestra son ajustadas automáticamente por el equipo.



Gráfico 0-1: Medición de Ph de R1 -20- BA

Realizado por: CHERCUELON, Eliana., 2017.

- **Conductividad eléctrica**

La Conductividad Eléctrica (CE) de una muestra se mide usando un conductímetro que contiene un Puente de Wheatstone o equivalente; siempre que sea posible, las muestras se analizarán a 25°C. A menos que el instrumento realice una corrección de temperatura de las muestras, primero serán estabilizadas hasta la temperatura de medición y se reportará el resultado a 25°C o a la temperatura de medición. Las unidades son Siemens por metro [S/m] en sistema de medición internacional.

Equipos y Materiales.

- Conductímetro. Equipo EI/99
- Vasos de plásticos de varios volúmenes.
- Varillas de agitación

Preparación.

La medición de la conductividad es mediante determinación directa, todas las muestras deberán ser recolectadas usando un adecuado plan de muestreo que conduzca a consideraciones establecidas. Todos los recipientes deberán ser prelavados y enjuagados fuertemente. Recipientes plásticos o de vidrio pueden usarse para la recolección.

Las muestras pueden ser almacenadas a 4°C y analizadas antes de 28 días.

Antes de la medición, se deberá dejar tanto la muestra como los estándares de calibración, que se estabilicen a temperatura ambiente, para luego proceder a la calibración del equipo y medición de las muestras.

Medición

La C.E. de muestras de aguas naturales y descargas líquidas no aceitosas se determina directamente.

-Coloque en un vaso de vidrio o plástico limpio un volumen de muestra suficiente para cubrir la celda del Conductímetro.

-Sumerja la sonda en la muestra y suavemente revuelva a una velocidad constante para proporcionar la homogeneidad, y esperar hasta que la lectura se estabilice.

-En el caso de que la conductividad observada sea extremadamente diferente al valor del estándar utilizado para la verificación de la calibración, cambie de solución estándar a una acorde a la muestra, calibre y verifique antes de realizar la lectura de la muestra correspondiente.

-El resultado se registrará en el formato PEE0201 en uS/cm, y se expresa en cifras enteras o decimales según la resolución del equipo en el rango medido.

-Para la medición de la C.E. en otras muestras, enjuague el electrodo, séquelo completamente y repita los pasos antes mencionados.

Tratamiento de resultados

Para considerar que una lectura es estable se verificará que la variabilidad entre lecturas no sea mayor 3 veces la resolución del equipo en ese rango de medidas.

En la determinación de la C.E. no se requiere cálculo alguno, el valor se obtiene directamente del conductímetro. Las variaciones de temperatura de la muestra son ajustadas automáticamente por el equipo.



Gráfico 0-2: Medición de CE de R3-30-BA

Realizado por: CHERCUELON, Eliana., 2017.

1.1.3. Cuantificación de Plomo (II)

1.1.3.1. Plan de muestreo de agua

Se realizó un análisis de agua previo al tratamiento para evidenciar si la concentración inicial era la deseada y otra muestra final para comprobar si las especies *Limnocharis Flava* y *Hydrocotyle Bonarienses* absorbieron el plomo del agua

• Evaluación en laboratorio

El análisis se realiza mediante Espectrometría de Absorción Atómica, una muestra es aspirada y atomizada en una flama. Un rayo de luz de la lámpara de cátodo hueco (o una lámpara de descarga de electrones) pasa directamente a través de la llama dentro de un monocromador, y llega a un detector que mide la cantidad de luz absorbida.

La absorción depende de la presencia de átomos libres no excitados en la llama. Debido a que la longitud de onda del rayo de luz es característica del metal que está siendo determinado, la energía de la luz absorbida por la llama es una medición de la concentración del metal en la muestra.

Equipos y Reactivos

Equipos

Espectrofotómetro de Absorción Atómica. Código.

Lámparas de Cátodo Hueco multielementos o simple elemento.

Bloque de digestión equipado con extractor de vapores y regulador de temperatura y tiempo.

Cristalería: toda la cristalería, contenedores de polipropileno o teflón, vasos de precipitados y pipetas, podrían ser lavados en la siguiente secuencia:

Ácido clorhídrico 1:1 v/v, agua de grifo, ácido nítrico 1:1 v/v, agua de grifo, detergente, grifo de agua, agua destilada.

1.1.3.2. Plan de muestreo de tejido vegetal

El análisis del tejido vegetal se realizó transcurrido los 60 días de tratamiento, se efectuó una extracción manual de todas las plantas de los recipientes, con la mayor cantidad de raíces y así determinar si existe concentración de plomo en las plantas.

- **Evaluación en laboratorio.**

El análisis del tejido vegetal se determinará en llama (aspiración directa) mediante Espectrometría de Absorción Atómica. El método es simple, rápido y aplicable a gran número de muestras.

Procedimiento.

Lavar las especies vegetales para remover todas las partículas adheridas a las plantas.

Hacer un recipiente de papel aluminio.

Cortar las plantas en pedazos pequeños y colocar sobre el papel aluminio.

Secar en la estufa a 105 °C durante 48 horas.

Una vez secas las muestras procedemos a triturarlas.

A la muestra triturada homogeneizar para permitir uniformidad de las partículas, de ser apropiado y necesario, use un tamiz para obtener partículas del mismo tamaño. Todos los equipos usados para la homogenización deben ser limpiados correctamente para minimizar contaminación externa.

Para cada procedimiento de digestión, se coloca en un tubo de ensayo 0,5g de muestra de planta seca y molida, 25 ml de 1M HNO₃.

Agregue unas perlas de ebullición al tubo de digestión y someta a calentamiento a reflujo abierto en el bloque de digestión aproximadamente a 150°C durante 30 minutos.

Remueva el tubo del bloque de digestión y permita que se enfríe. Lave las paredes del tubo y, de ser necesario, filtre la muestra para remover cualquier material insoluble

Ajuste el volumen final a 100 mL con agua destilada proceder a realizar la lectura.

Colocar la muestra en un vaso con su respectivo código.

Aspire la muestra para que determine la concentración del metal.

1.1.4. Determinación de la eficacia

Se determinará la capacidad que tienen las plantas para absorber el contaminante en los diferentes niveles de plomo.

1.1.4.1. *Cálculo para la determinación de absorción de pb*

Para determinar la absorción de plomo de acuerdo a Romero, 1999 está determinada por la siguiente fórmula:

$$Ab: \frac{Co - Ce}{Co}$$

Donde:

Co: Concentración inicial.

Ce: Concentración final del contaminante.

1.1.5. *Relaciones de concentración del metal en la planta*

Las plantas tienen diferentes conjuntos de respuesta ante la presencia de compuestos tóxicos como metales pesados. De acuerdo al mecanismo de remoción del metal se da un proceso que consiste en dos pasos: el primero paso es absorción rápida o vinculación a la superficie biológica (biosorción), seguida por el paso de transporte lento e irreversible, controlado por la difusión al interior de la célula (bioacumulación) por la difusión del metal (Wang et al 1996).

1.1.5.1. *Factor de bioconcentración*

Es utilizado para medir la capacidad de captación de un metal por una planta con relación a su concentración en el agua.

1.1.5.2. *Factor de translocación*

Es el cociente entre la concentración del metal en los órganos aéreos y raíz. Factores de translocación mayores a 1 sugieren gran capacidad para transportar metales desde las raíces a los vástagos, explicada en su mayor parte por eficientes sistemas de transporte de metales (Olivares et al 2009)

1.1.5.3. *Clasificación de la planta en relación al factor de bioconcentración y translocación*

La bioconcentración de plomo (Pb) en los tratamientos en el que se utilizaron las especies vegetales se determinara mediante análisis de laboratorio de las plantas *Limnocharis Flava* y *Hydrocotyle Bonarienses*.

- **Factor de bioconcentración en la parte aérea de la planta.**

También conocida como factor de bioacumulación, es la proporción del metal contenido en la parte aérea de la planta con respecto al suelo o agua, es decir en las hojas se producen graves daños en los

cloroplastos y las mitocondrias, lo que altera los procesos de fotosíntesis y de respiración debido a la bioconcentración del metal.

De acuerdo a Baker et al. 2000:

Si Pb (mg/kg) > 1000 mg/kg se considera planta hiperacumuladora.

- **Factor de bioconcentración en la raíz de la planta**

Este factor también llamado concentración biológica se da como la relación que existe entre la concentración del metal en la raíz de la planta respecto a la concentración de metales en el suelo y agua (Vyslouzilova 2003). En las plantas los efectos empiezan en la raíz debido a que es el órgano responsable de asimilar los nutrientes y contaminantes del medio, afectando sucesivamente el resto de la planta.

- **Factor de translocación**

Es la medida del transporte interno del metal e indica la relación entre la concentración acumulada en la parte aérea y la raíz de la planta, es decir algunas plantas translocan o transfieren el exceso de metal a las hojas viejas, o limitan el transporte de la raíz al tallo.

La vacuola tiene un funcionamiento especial en el almacenamiento de metales, en los cuales se transportan los iones metálicos de manera activa al interior del tonoplasto como iones libres o como complejos metal – molécula quelante a otras partes de la planta.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Resultados de la muestra inicial de agua contaminada con plomo.

Analizados los distintos parámetros de la muestra de agua, en el Laboratorio LABSU (Laboratorio de aguas y suelo), el informe de análisis (ver Anexo F, G, H) presenta los siguientes resultados:

Tabla 1: Análisis inicial de las muestras de agua contaminadas con Pb.

Parámetros	Unidad	a 5 651	a 5 652	a 5 653	Método/Norma Referencia	Incertidumbre (K = 2)
Potencial de hidrógeno	-	8,01	7,55	7,64	SM 4500-H+ B	± 0,02
Conductividad eléctrica	uS/cm	78,5	78,5	78,0	SM 2510 B	± 8%

Plomo	mg/L	9,92	19,97	29,90	SM 3030 B, 3111 B	± 30%
-------	------	------	-------	-------	-------------------	-------

Fuente: LABSU, 2017

Tabla 2: Análisis inicial y finales de las muestras de agua contaminadas con Pb.

Parámetro	R1-10-BA	R2-10-BA	R3-10-BA
Plomo inicial	9,92 mg/L	9,92 mg/L	9,92 mg/L
Plomo final	1,30 mg/L	1,30 mg/L	1,28 mg/L
	R1-20-BA	R2-20-BA	R3-20-BA
Plomo inicial	19,97 mg/L	19,97 mg/L	19,97 mg/L
Plomo final	2,96 mg/L	2,95 mg/L	2,96 mg/L
	R1-30-BA	R2-30-BA	R3-30-BA
Plomo inicial	29,90 mg/L	29,90 mg/L	29,90 mg/L
Plomo final	6,78 mg/L	6,77 mg/L	6,77 mg/L
	R1-10-MA	R2-10-MA	R3-10-MA
Plomo inicial	9,92 mg/L	9,92 mg/L	9,92 mg/L
Plomo final	0,4 mg/L	0,4 mg/L	0,5 mg/L
	R1-20-MA	R2-20-MA	R3-20-MA
Plomo inicial	19,97 mg/L	19,97 mg/L	19,97 mg/L
Plomo final	1,19 mg/L	1,18 mg/L	1,19 mg/L
	R1-30-MA	R2-30-MA	R3-30-MA
Plomo inicial	29,90 mg/L	29,90 mg/L	29,90 mg/L
Plomo final	3,38 mg/L	3,38 mg/L	3,39 mg/L

Fuente: LABSU, 2017

Resultados de la muestra de agua, después de 60 días de tratamiento con la especie vegetal buchón de agua a 10 ppm.

Como ya se manifestó en el capítulo anterior la fase experimental fue de 60 días, donde se tomó una muestra de cada humedal el cual fue contaminado a 9,92 ppm, a continuación, se detallan los resultados de los informes del laboratorio LABSU.

Tabla 3: Resultados finales de Buchón de agua a 10 ppm.

Parámetros	Unidad	Muestra inicial de Pb	R1-10-BA	R2-10-BA	R3-10-BA	Método/Norma/Referencia
------------	--------	-----------------------	----------	----------	----------	-------------------------

Potencial de hidrógeno	-	-	8,29	8,26	8,21	SM 4500-H+ B
Conductividad eléctrica	uS/cm	-	812	811	810	SM 2510 B
Plomo	mg/L	9,92	1,30	1,30	1,28	APHA 3120 B

Fuente: LABSU, 2017

Resultados de la muestra de agua, después de 60 días de tratamiento con la especie vegetal buchón de agua a 20 ppm.

Como ya se manifestó en el capítulo anterior la fase experimental fue de 60 días, donde se tomó una muestra de cada humedal el cual fue contaminado a 19,97 ppm, a continuación se detallan los resultados de los informes del laboratorio LABSU.

Tabla 4: Resultados finales de Buchón de agua a 20 ppm.

Parámetros	Unidad	Muestra inicial de Pb	R1-20-BA	R2-20-BA	R3-20-BA	Método/Norma/Referencia
Potencial de hidrógeno	-	-	8,26	8,26	8,21	SM 4500-H+ B
Conductividad eléctrica	uS/cm	-	820	820	819	SM 2510 B
Plomo	mg/L	19,97	2,96	2,95	2,96	APHA 3120 B

Fuente: LABSU, 2017

Resultados de la muestra de agua, después de 60 días de tratamiento con la especie vegetal buchón de agua a 30 ppm.

Como ya se manifestó en el capítulo anterior la fase experimental fue de 60 días, donde se tomó una muestra de cada humedal el cual fue contaminado a 29,90 ppm, a continuación se detallan los resultados de los informes del laboratorio LABSU.

Tabla 5: Resultados finales de Buchón de agua a 30 ppm.

Parámetros	Unidad	Muestra inicial de Pb	R1-30-BA	R2-30-BA	R3-30-BA	Método/Norma/Referencia
Potencial de hidrógeno	-	-	8,30	8,28	8,28	SM 4500-H+ B
Conductividad eléctrica	uS/cm	-	823	825	824	SM 2510 B
Plomo	mg/L	29,90	6,78	6,77	6,77	APHA 3120 B

Fuente: LABSU, 2017

Resultados de la muestra de agua, después de 60 días de tratamiento con la especie vegetal muñequita de agua a 10 ppm.

Como ya se manifestó en el capítulo anterior la fase experimental fue de 60 días, donde se tomó una muestra de cada humedal el cual fue contaminado a 9,92 ppm, a continuación se detallan los resultados de los informes del laboratorio LABSU.

Tabla 6: Resultados finales de Muñequita de agua a 10 ppm.

Parámetros	Unidad	Muestra inicial de Pb	R1-10-MA	R2-10-MA	R3-10-MA	Método/Norma/Referencia
Potencial de hidrógeno	-	-	7,84	7,84	7,79	SM 4500-H+ B
Conductividad eléctrica	uS/cm	-	794	792	793	SM 2510 B
Plomo	mg/L	9,92	0,4	0,4	0,5	APHA 3120 B

Fuente: LABSU, 2017

Resultados de la muestra de agua, después de 60 días de tratamiento con la especie vegetal muñequita de agua a 20 ppm.

Como ya se manifestó en el capítulo anterior la fase experimental fue de 60 días, donde se tomó una muestra de cada humedal el cual fue contaminado a 19,97 ppm, a continuación, se detallan los resultados de los informes del laboratorio LABSU.

Tabla 7: Resultados finales de Muñequita de agua a 20 ppm.

Parámetros	Unidad	Muestra inicial de Pb	R1-20-MA	R2-20-MA	R3-20-MA	Método/Norma/Referencia
Potencial de hidrógeno	-	-	7,87	7,87	7,88	SM 4500-H+ B
Conductividad eléctrica	uS/cm	-	789	788	789	SM 2510 B
Plomo	mg/L	19,97	1,19	1,18	1,19	APHA 3120 B

Fuente: LABSU, 2017

Resultados de la muestra de agua, después de 60 días de tratamiento con la especie vegetal muñequita de agua a 30 ppm.

Como ya se manifestó en el capítulo anterior la fase experimental fue de 60 días, donde se tomó una muestra de cada humedal el cual fue contaminado a 29,29 ppm, a continuación se detallan los resultados de los informes del laboratorio LABSU.

Tabla 8: Resultados finales de Muñequita de agua a 30 ppm.

Parámetros	Unidad	Muestra inicial de Pb	R1-30-MA	R2-30-MA	R3-30-MA	Método/Norma/Referencia
Potencial de hidrógeno	-	-	7,89	7,87	7,88	SM 4500-H+ B
Conductividad eléctrica	uS/cm	-	789	788	790	SM 2510 B
Plomo	mg/L	29,90	3,38	3,38	3,39	APHA 3120 B

Fuente: LABSU, 2017

Comparación de absorción de plomo de la especie vegetal buchón de agua a 10, 20, 30 ppm.

Tabla 9: Comparación de absorción de plomo de buchón de agua a 10, 20, 30 ppm.

	Buchón de agua 10 ppm	Buchón de agua 20 ppm	Buchón de agua 30 ppm
Análisis inicial	9,92 ppm	19,97 ppm	29,9 ppm
Repetición 1	1,30 ppm	2,96 ppm	6,78 ppm
Repetición 2	1,30 ppm	2,95 ppm	6,77 ppm
Repetición 3	1,28 ppm	2,96 ppm	6,77 ppm

Fuente: LABSU, 2017

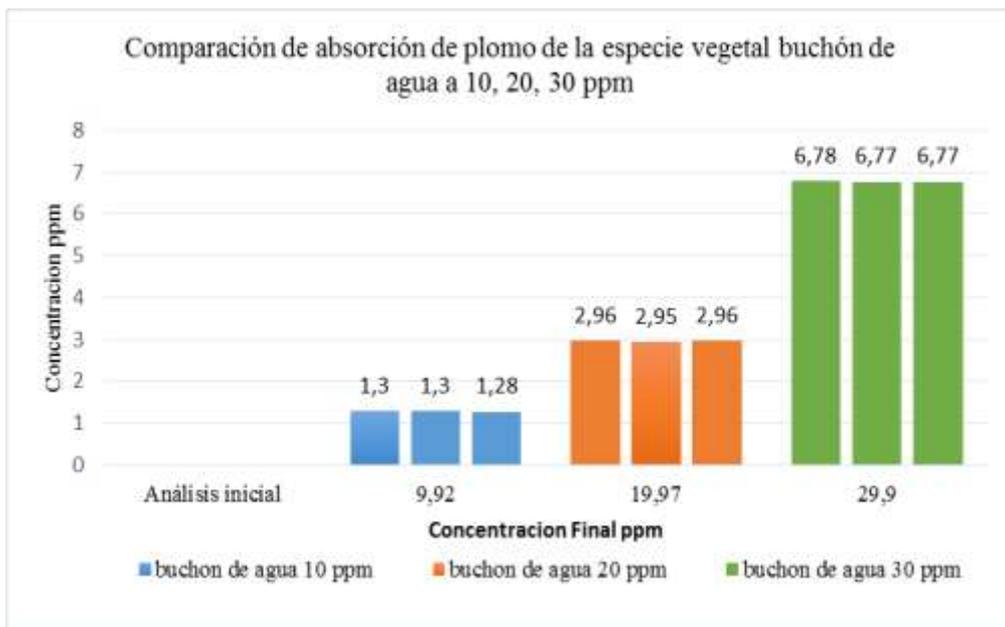


Gráfico 8: Absorción de plomo por Buchón de agua a 10,20 y 30 ppm.

Durante la fase experimental de 60 días se realizaron 2 muestreos con el fin de cuantificar el plomo en el agua, la cual en el pre tratamiento de 10 ppm dio un valor de 9,92 ppm; de 20 ppm 19,97 y de 30 ppm 29,90 ppm, al transcurrir los 2 meses de tratamiento se realizó el análisis final para verificar la absorción de plomo del agua por las especies vegetales, comprobando que a menor concentración la planta buchón de agua absorbe mayor concentración de plomo y tiene un mejor desarrollo de la planta.

Comparación de absorción de plomo de la especie vegetal muñequita de agua a 10, 20, 30 ppm.

Tabla 10: Comparación de absorción de plomo de muñequita de agua a 10, 20, 30 ppm.

	Muñequita de agua 10 ppm	Muñequita de agua 20 ppm	Muñequita de agua 30 ppm
Análisis inicial	9,92 ppm	19,97 ppm	29,9 ppm
Repetición 1	0,4 ppm	1,19 ppm	3,38 ppm
Repetición 2	0,4 ppm	1,18 ppm	3,38 ppm
Repetición 3	0,5 ppm	1,19 ppm	3,39 ppm

Fuente: LABSU, 2017

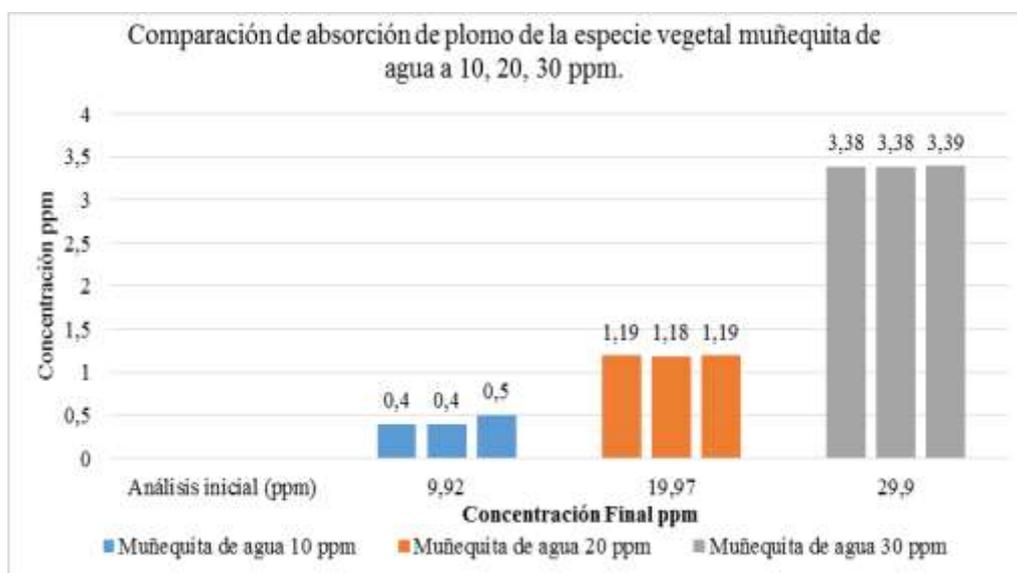


Gráfico 9: Absorción de plomo por Muñequita de agua a 10,20 y 30 ppm.

Durante la fase experimental de 60 días se realizaron 2 muestreos con el fin de cuantificar el plomo en el agua, la cual en el pre tratamiento de 10 ppm dio un valor de 9,92 ppm; de 20 ppm 19,97 y de 30 ppm 29,90 ppm, al transcurrir los 2 meses de tratamiento se realizó el análisis final para verificar la absorción de plomo del agua por las especies vegetales, comprobando que a menor concentración la planta muñequita de agua absorbe mayor concentración de plomo y tiene un mejor desarrollo en los humedales.

CONCLUSIONES

Se determinó que la especie vegetal *Hydrocotyle Bonariensis* presenta una mayor absorción de plomo del agua de 10 ppm acumulándolo mayoritariamente en la raíz en un 84,63% y en el tallo un 9,38 %.

Las concentraciones iniciales de Pb en las muestras de agua contaminada fueron de 9,92 ppm, 19,97 ppm y 29,90 ppm como nitrato de Pb, lo cual se determinó con el método de espectrofotometría de absorción atómica

Se determinó las concentraciones de Pb en el humedal de 9,92; 19,97; y 29,90 ppm luego de transcurrido 60 días con la especie vegetal Buchón de agua (*Limnocharis Flava*) siendo un valor 1,3 ppm, 2,96 ppm, 6,78 ppm respectivamente y en el humedal tratado con la especie vegetal muñequita de agua (*Hydrocotyle Bonariensis*) cuya concentración final fue de 0,4 ppm, 1,19 ppm y 3,38 ppm.

Las concentraciones finales de plomo con el tratamiento de la especie vegetal buchón de agua (*Limnocharis Flava*) de 9,92 ppm obtuvo una absorción de 86%, seguido del tratamiento de 19,97 ppm obtuvo una absorción de 85% y de 29,90 ppm obtuvo una absorción de 77%, y con Muñequita de agua (*Hydrocotyle Bonariensis*) a 9,92 ppm logro una absorción de 96%, seguido del tratamiento de 19,97 ppm obtuvo una absorción de 94% y de 29,90 ppm obtuvo una absorción de 89%, por lo tanto esta última presenta una mayor absorción, por lo que se concluye que es la especie más apta para tratar aguas contaminadas con Pb.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEDOYA, Juan; et al. Evaluación de un humedal artificial de flujo subsuperficial en el tratamiento de las aguas residuales generadas en la Institución Universitaria Colegio Mayor de Antioquia, Colombia. Revista internacional de contaminación ambiental [en línea]. Antioquia – Colombia, 2014. 30 (3), pp 275-283. [Consulta: 10 de abril de 2017]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S018849992014000300004&lng=es&tlng=es

CARPIO, Nelly. Cuantificación de Pb y Cd en aguas, sedimentos y plantas en el río Chimbo. (Tesis) (Maestría). Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Naturales. Guayaquil - Ecuador. 2016. Pp.5-6

FENGLIAN Fu; et al. "Removal of Heavy Metals Ions from Wastewaters: A Review". Journal of Environmental Management. 92 ed. China - Pekín. 2011. pp. 407-410.

FRERS, Cristian. *El uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales. Observatorio Medioambiental* [blog]. [Consulta: 30 de marzo 2017]. Disponible en: <http://revistas.proeditio.com/REVISTAMAZONICA/article/view/158/136>

GARCIA, Elena. "Las dos caras del plomo". MoleQla [en línea]. 2012. España – Madrid. 8. [en línea] pp. 73-74. [Consulta: 15 de febrero 2017]. Disponible en: https://www.upo.es/moleqla/export/sites/moleqla/documentos/numero_8_final.pdf

JIMÉNEZ, David. Cuantificación de metales pesados (Cadmio, Cromo, Níquel y Plomo) en agua superficial, sedimentos y organismos (*Crassostrea columbiensis*) ostión de mangle en el Puente Portete del Estero Salado Guayaquil [en línea] (Tesis). Universidad de Guayaquil, Facultad de ciencias naturales, Escuela de biología. Guayaquil- Ecuador. 2012. pp 5. [Consulta: 12 de febrero 2017]. Disponible en: <http://repositorio.ug.edu.ec/bitstream/redug/1683/1/Cuantificaci%C3%B3n%20de%20metales%20pesados%20%28Cadmio%2c%20cromo%2c%20n%C3%ADquel%20y%20plomo%29%20en%20agua%20superficial%2c%20sedimentos%20y%20organismos...%20Jim%C3%A9nez%2c%20David.pdf>

LUNA PABELLO, Víctor Manuel, & ABURTO CASTAÑEDA, Sergio. "Sistema de humedales artificiales para el control de la eutrofización del lago del Bosque de San Juan de Aragon". Revista especializada en ciencias químico – biológicas. [en línea]. 2014. México - Ciudad de México. 17.

pp 30-35 [Consulta: 20 marzo de 2017]. Disponible en:
<http://www.revistas.unam.mx/index.php/tip/article/view/49787>

HERNÁNDEZ, María. "Evaluación de un reactor anaerobio y humedal artificial para el tratamiento de aguas residuales". Revista jóvenes en la ciencia. [en línea]. Guanajuato- México. 1. 2016. pp. 19-15. [Consulta: 24 marzo de 2017]. Disponible en:
<http://www.jovenesenlaciencia.ugto.mx/index.php/jovenesenlaciencia/article/view/284/>

HURRELL Julio; et al, Flora Rioplatense: sistemática, ecología y etnobotánica de las plantas vasculares rioplatenses: II Dicotiledóneas [blog], Argentina, Buenos Aires, 2013. [Consulta: 15 de marzo 2017]. Disponible en:
<https://florabonaerense.blogspot.com/p/bibliografia.html>

RUBIO, Carlos; et al. "El plomo como contaminante alimentario". Revista de toxicología. [en línea]. 2004. España – Madrid. 21. pp 72. [Consulta: 6 marzo de 2017]. Disponible en:
<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91921303>> ISSN 0212-7113

SAEED Thomas. & SUN Gonzalo. Una revisión sobre los mecanismos de eliminación de nitrógeno y compuestos orgánicos en humedales construidos de flujo subsuperficial: La dependencia de los parámetros ambientales, condiciones de operación y los medios de apoyo. J. Environ. Manag. Madrid- España. 2012. pp 429-448.

STEFANAKIS, Alexandros.; & TSIHRINTZIS, Vassilios. Effects of loading, resting period, temperature, porous media, vegetation and aeration on performance of pilot-scale vertical flow constructed wetlands. *Chemical engineering journal*. 181 ed. Boston-EEUU: 2012 pp. 416-430.

TINTIN, Fabián, & MOSCOSO, Pablo. Capacidad de absorción de la planta de papa *solanum Tuberosum ssp andigena*, en el suelo contaminado con plomo (Tesis). [en línea]. Universidad politécnica salesiana sede Cuenca. Ecuador-Cuenca. 2013. p 6. [Consulta: 25 marzo de 2017]. Disponible en:
<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/8925/1/UPS-CT005169.pdf>

VOLESKY Bohumil; et. al. "Biosorption of Heavy Metals". American chemical society, N° 39. (1995). United States of America. pp. 235-237

VYMAZA, Jineth. El uso de humedales construidos híbridos para el tratamiento de aguas residuales con especial atención a la remoción de nitrógeno: una revisión de un desarrollo reciente. Agua. Washington-USA. 2013. pp 15-47.

FERNÁNDEZ, Mateo, BEDOYA, Ana. MADRIÑÁN, Santiago. Plantas acuáticas de las planicies inundables de la Orinoquia Colombia [en línea]. Bogotá- Colombia, 2015. Pp. 18-35. [Consulta: 16 de marzo 2017]. Disponible en:
http://repository.humboldt.org.co/bitstream/20.500.11761/9431/1/Biota_16_1_2015_baja_2_p98-107.pdf

SANSALONE, M.F, et al, Metales pesados en el valle aluvial del Río Matanza-Riachuelo [en línea]. Argentina- Santa Fé. [Consulta: 16 de marzo 2017]. Disponible en:
http://www.conicet.gov.ar/new_scp/detalle.php?keywords=&id=00242&inst=yes&congresos=yes&detalles=yes&congr_id=1582637