



## ARTÍCULO ORIGINAL

## Concentración de plomo y cromo en poblaciones de *Typha latifolia* L. (Typhaceae) en el lago Yahuarcocha; Imbabura - Ecuador

*Concentration of lead and chrome in populations of Typha latifolia L. (Typhaceae) in the Yahuarcocha lake; Imbabura - Ecuador*

Renato Oquendo Andino<sup>1\*</sup> , Loiret FG<sup>2</sup> , Leneidy Pérez Pelea<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales, Universidad Técnica del Norte, Ecuador.

<sup>2</sup> Laboratorio de Fisiología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba

<sup>3</sup> Departamento Biología Vegetal, Facultad de Biología, Universidad de La Habana, Cuba.

\*Autor para correspondencia:  
[jroquendo@utn.edu.ec](mailto:jroquendo@utn.edu.ec)

### RESUMEN

El lago Yahuarcocha es un ecosistema léntico de gran importancia ecológica, económica y paisajística para la provincia de Imbabura. La contaminación por actividades antrópicas ha causado su deterioro ecológico. El objetivo de esta investigación fue cuantificar la concentración de plomo y cromo en la raíz, suelo, sedimentos y agua en cuatro puntos en el lago donde se desarrolla *Typha latifolia* L. Las muestras se procesaron según protocolos estandarizados y se analizaron mediante la técnica de espectrofotometría de absorción atómica modalidad horno de grafito. Se realizaron mediciones de pH y conductividad del agua cercana a las poblaciones para relacionarla con la capacidad de absorción de los metales por *Typha latifolia*. Se calculó el factor de concentración del metal, relacionando la concentración presente en la raíz y en el sustrato. Las concentraciones de metales en la raíz y nichos asociados a *T. latifolia* tuvieron diferencias significativas entre el período seco y lluvioso. Los niveles más altos de contaminación en el sedimento, suelo y agua se registraron en los puntos más cercanos a las actividades humanas. Las zonas de mayor contaminación de plomo y cromo corresponden a sitios donde se desarrollan actividades de recreación con motores y zonas agrícolas respectivamente. Los parámetros fisicoquímicos del agua no se relacionaron con la capacidad de absorción del metal por la planta. El factor de concentración fue bajo en relación a la capacidad de acumulación de metales en la raíz en la zona de estudio. El hecho de que la concentración de estos contaminantes fue mayor en los sedimentos en el punto analizado ausente de poblaciones de la especie, obedece al proceso de sedimentación donde las formas menos solubles en agua son acumuladas en este estrato del lago. Este cuerpo hídrico es el sumidero de varios contaminantes orgánicos e inorgánicos, donde los metales son importantes por su gran toxicidad y persistencia. *Typha latifolia* registra acumulación de metales en sus raíces y en la literatura se informa como fitoremediadora. La planta puede ser una alternativa viable para la recuperación de Yahuarcocha con opciones de humedales artificiales en zonas de mayor afectación y acumulación de metales en el lago.

**Palabras clave:** contaminación, metal, agua

Recibido: 2020-01-13

Aceptado: 2020-04-28

**ABSTRACT**

*Yahuarcocha Lake is a lentic ecosystem of great ecological, economic and landscape importance for the province of Imbabura. Pollution from anthropic activities has caused ecological deterioration. The objective of this investigation was to quantify the concentration of lead and chromium in the root, soil, sediments and water at four points in the lake where *Typha latifolia* L. grows. The samples were prepared according to standardized protocols and were analyzed by Atomic Absorption Spectrometry Technique (AAS). The pH and conductivity of the water near the populations were measured to relate them to the absorption capacity of the species. The metal concentration factor was calculated, relating the concentration in the root with that present in the sediment. The concentrations of metals in the root and niches associated with *T. latifolia* had significant differences between the dry and wet period. The highest levels of contamination in the sediment, soil and water were recorded at the points close to human activities. The areas with the highest lead and chromium concentration correspond to places where recreational activities are carried out with motors and agricultural areas, respectively. The physicochemical parameters of the water were not related to the absorption capacity of the metal by the plant. The concentration factor was low in relation to the capacity of accumulation of metals in the root in the study area. The fact that the concentration of these pollutants was higher in the sediments at the point without populations of the species, is due to the sedimentation process where the water-insoluble forms are accumulated in this layer of the lake. The lake is the sink for various organic and inorganic pollutants, where metals are important due their toxicity and persistence. *Typha latifolia* shows accumulation of metals in its roots and the literature reported it as a phytoremediator. The plant could be an alternative for the recovery of Yahuarcocha with options for artificial wetlands in affected areas by accumulation of lead or chromium.*

**Keywords:** pollution, metal, water

**INTRODUCCIÓN**

A través de la historia, el ser humano ha sido el causante de la contaminación de los ecosistemas del planeta con la emisión de sustancias nocivas, muchas de ellas de elevada toxicidad y persistencia (Núñez *et al.*, 2011). Este es el caso de la contaminación por metales tóxicos que además de causar un desequilibrio en los cuerpos de agua y todos sus componentes, puede causar afectaciones a la salud humana. Después que los metales ingresan al cuerpo de agua, de manera natural o antrópica, sufren una serie de reacciones químicas y se pueden acumular principalmente en los sedimentos superficiales (Fu *et al.*, 2014). Los cuerpos de agua que se ubican cerca a las ciudades, poblaciones o zonas industriales son propensos a este tipo de contaminación. Desde la revolución industrial, aproximadamente el 40% de los lagos y ríos del planeta han sido afectados por este tipo de contaminantes, producidos por actividades humanas no controladas (Li *et al.*, 2014). Los metales tóxicos como el plomo y el cromo puede causar diversos daños en las plantas como reducción del porcentaje de germinación, disminución de la fotosíntesis y respiración celular; además pueden producir estrés oxidativo y genotoxicidad (Pourrut *et al.*, 2011; Pal-Singh *et al.*, 2013).

Las especies vegetales que habitan en los sitios contaminados se han adaptado y utilizan sus características intrínsecas para sobrevivir en dichos ambientes. Estas plantas pueden utilizarse en la remoción de metales tóxicos del agua o sedimentos, algunas veces con interacciones con bacterias o algunos hongos, sin mostrar algún efecto externo de toxicidad (Prasad *et al.*, 2001). Este es el caso de la especie *Typha latifolia* L, que en estudios realizados por Carranza-Álvarez *et al.* (2008), demostraron la capacidad de bioacumulación de metales en lagunas contaminadas en San Luis Potosí en México, y sugieren a esta especie para tratamientos de fitorremediación para metales tóxicos. Brankovic *et al.* (2011), informaron que esta planta acuática es hiperacumuladora de metales pesados como plomo, cobre, manganeso y hierro en sus raíces, pues absorbe y acumula metales hasta llegar a concentraciones superiores al entorno. También se ha reportado la capacidad de acumulación de otros elementos como: arsénico, cromo y cadmio, metales traza que se absorbieron por las raíces de la especie en diferentes concentraciones (Leura-Vicencio *et al.*, 2013). Los resultados sugieren que la especie *T. latifolia* puede ser considerada como una alternativa posible para el tratamiento de sitios contaminados con metales tóxicos (Kofi-Anning y Akoto, 2018).

En la actualidad esta especie se utiliza para depuración de aguas residuales producidas por descargas industriales en especial las que poseen altas cantidades de cromo, acumulándolo en gran cantidad en sus raíces en comparación con su parte aérea (Sudarsan *et al.*, 2018).

En el lago Yahuarcocha existen varias actividades antrópicas como agricultura, ganadería, hotelería, actividades deportivas y de recreación que, sumado a las prácticas ambientales inadecuadas y a la falta de sensibilidad de la población, agravan sustancialmente la contaminación. En este cuerpo lacustre se descargan efluentes al agua, las cuales provienen de actividades humanas sin un tratamiento preliminar. Este proceso aporta un aumento de carga orgánica y provoca eutrofización del lago, lo cual produce una disminución del espejo de agua y la expansión de plantas acuáticas (Pabón, 2015). Muchos suelos agrícolas tienen contaminación por metales tóxicos debido a la aplicación recurrente de fertilizantes y pesticidas. Aunque la concentración de metales tóxicos en estos suelos es generalmente mucho menor a la que puede encontrarse en zonas mineras y regiones industriales, a menudo sobrepasan los niveles permitidos y representan un riesgo para el ambiente y la salud humana, porque entran a las cadenas tróficas y se bioacumulan en los organismos superiores (Weis y Weis, 2004).

El objetivo del presente estudio fue cuantificar la concentración de plomo y cromo en raíces de *T. latifolia*, sedimentos, suelo y agua donde se desarrollan las poblaciones más representativas del lago Yahuarcocha. Además, se analizaron correlaciones entre las concentraciones obtenidas en la raíz con factores físico-químicos como pH y conductividad determinados en agua de zonas aledañas a los puntos de muestreo.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Descripción del área de estudio

El lago Yahuarcocha se encuentra ubicado al norte del Ecuador, en la provincia de Imbabura, aproximadamente a unos 3 km de la ciudad de Ibarra. Ocupa los flancos orientales de la Cordillera de los Andes. Se localiza geográficamente en los 00°22'300 N y 78°06'100 O (Maridueña *et al.*, 2011). En el sector se pueden diferenciar tres tipos de clima: ecuatorial mesotérmico semihúmedo, ecuatorial frío semihúmedo y ecuatorial frío húmedo; se ha determinado que existen tres

meses ecológicamente secos que comprenden desde junio hasta mediados de agosto y tres meses de lluvia desde marzo hasta mayo (Pabón *et al.*, 2012). El suelo varía desde limoso a limo-arenoso, con presencia de arenas muy finas y suelos de origen volcánico. La vegetación nativa del lago son plantas acuáticas sumergidas emergentes y flotantes (Erazo y Jaramillo, 2005) y presenta vegetación cultivada, como maíz, en los terrenos aledaños. Las características más relevantes del lago se detallan en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Características generales del lago Yahuarcocha, según Pabón *et al.* (2012), Blomme (2014) y Mandonx (2014).

**Table 1.** General characteristics of the Yahuarcocha lake, according to Pabón *et al.* (2012), Blomme (2014) and Mandonx (2014).

Parámetro	Yahuarcocha
Altitud	2 192 m s. n. m.
Temperatura máxima	24 °C
Precipitación anual	750 mm
Área del lago	2,61 km <sup>2</sup>
Perímetro	26,96 km
Área urbana	6,07 %
Plantaciones	1,86 %
Área agrícola	23,64 %
Páramo	1,64 %
Profundidad máxima	6,93 m

### Recolección de muestras

La toma de muestras se realizó según la temporalidad en el lago Yahuarcocha, para lo cual, se recolectaron muestras de raíz, suelo, sedimento y agua en el período seco (septiembre 2017) y en el período lluvioso (abril 2018). La finalidad de este modo de recolección fue registrar la relación entre los cambios estacionales y captación de metales tóxicos en la raíz y su acumulación en los estratos asociados a la misma. Se analizó el pH y la conductividad de tres muestras de agua en zonas aledañas a las poblaciones de *Typha latifolia*, mediante multiparámetro YSi Modelo 556 MPS.

### Muestras de raíz

Se seleccionó la raíz como órgano indicador teniendo en cuenta que varios estudios revelan que los metales absorbidos por *T. latifolia* se acumulan en su mayoría en la raíz (Sasmaz *et al.*, 2008; Han *et al.*, 2015; Bonanno y Luigi-Cirelli, 2017). Las muestras de raíces de *T. latifolia* se recolectaron en los cuatro sitios donde

se encontraban las poblaciones con mayor densidad en el lago. El muestreo fue aleatorio con tres repeticiones en cada sitio por cada período. Las plantas se extrajeron del lago, se separó la raíz del resto del individuo y se colocaron en fundas *ziploc* para su traslado al laboratorio. Las raíces se lavaron con agua destilada para liberar impurezas y restos de sustrato, y posteriormente, se secaron en la estufa a 85 °C por 72 horas (Strungaru *et al.*, 2015). Las raíces secas se molieron y se pasaron por un tamiz de tamaño de poro de 100 µm.

#### *Muestras de suelo*

Se recolectaron muestras de suelo en zonas aledañas a los sitios de colecta de las plantas. Se recolectaron tres muestras por cada uno de los cinco sitios, en los períodos seco y lluvioso. El muestreo se realizó con barreno para extraer 500 g de suelo a una profundidad de 25 a 30 cm. Las muestras se secaron al aire libre por 48 horas, se molieron y se tamizaron. El suelo tamizado se mezcló para obtener una muestra compuesta.

#### *Muestras de sedimentos*

Se recolectaron tres muestras de sedimentos superficiales en el mismo sitio donde se recolectaron las raíces de las plantas, en cada uno de los cinco sitios en los dos períodos. El muestreo se realizó mediante un cilindro de succión a 30 - 35 cm de profundidad en el sedimento, lo cual fue la longitud promedio de las raíces extraídas. Los sedimentos se secaron al aire libre por 48 horas y tamizados para su análisis final.

#### *Muestras de agua*

Se recolectaron tres muestras de agua en cada sitio en los dos períodos, las mismas se tomaron aproximadamente a 50 cm de profundidad en los sitios de toma de muestras de plantas de *T. latifolia*. Las muestras de agua se mantuvieron en frascos de vidrio ámbar de 100 mL a 10 °C durante la colecta y el traslado.

#### *Análisis de muestras*

Se pesaron 0,5 g de sedimento y 0,5 g de suelo, posteriormente se añadió 0,5 mL de agua destilada, 0,8 mL de ácido nítrico al 65% (libre de metales) con peróxido de hidrógeno al 30%. Las muestras de agua se acidificaron con ácido nítrico al 65%, procedimiento para realizar la digestión ácida de todas las muestras (Agnieszka, *et al.*, 2013). Las muestras se digirieron en un horno de digestión Milestone START D 130804 en dos periodos durante 10 minutos a 200°C. Se analizó

la concentración total de los metales plomo y cromo en un espectrofotómetro PEKINELMER AS800 Auto-sampler. Previamente se obtuvo una curva de calibración para cada metal usando soluciones estándar. La concentración de los metales se expresó en función de la materia seca.

#### *Factor de concentración del metal*

Para contrastar la concentración de metales en la raíz y el medio circundante, se calculó el factor de concentración de metal, con el empleo de la siguiente fórmula:  $CF = [M_{\text{planta}}] / [M_{\text{sustrato}}]$ , donde  $M_{\text{planta}}$  es la concentración del metal en la raíz de la planta y  $M_{\text{sustrato}}$  es la concentración del metal en el sustrato más común que sería el sedimento. El valor expresa la bioconcentración del metal en la planta con respecto al medio.

Para determinar los niveles de contaminación del lago en referencia a los metales en estudio, se compararon los resultados obtenidos con normativas nacionales e internacionales. Los parámetros utilizados para suelo fueron los estándares de calidad de suelo del Acuerdo Ministerial 097 A, Anexo 2 del Ecuador. Al no tener una normativa nacional para sedimentos, se tomó en cuenta la normativa canadiense "*Canadian Sediment Quality Guidelines for the protección of aquatic life*" con sus índices de valor guía interino de calidad de sedimentos; ISQG y Nivel de efecto probable, PEL (CCME, 2001). Con respecto al agua se tomó como referencia los estándares de la Agencia de Protección de los Estados Unidos (EPA) Acuerdo ministerial 097A Anexo 1 de calidad de agua, además de estudios previos realizados en el lago. Para las comparaciones se tomaron los valores máximos de concentración encontrados en los cinco puntos de muestreo en el área de estudio.

#### *Análisis estadísticos*

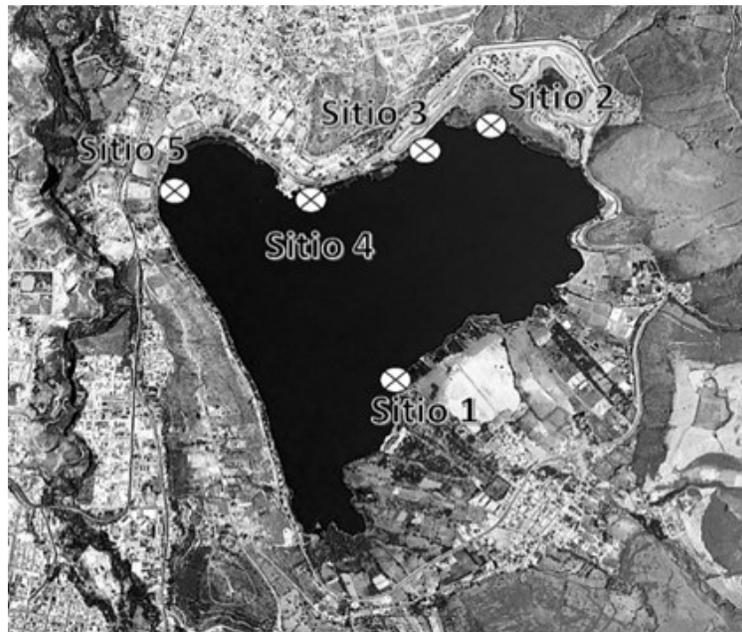
Se realizaron pruebas de Shapiro Will, Kolmogórov-Smirnov y Levene, para constatar la normalidad y homocedasticidad de las variables. Para la comparación entre los períodos de muestreo, se utilizó una prueba de U de Mann Whitney. Además, se realizó un ANOVA bifactorial con los factores períodos y puntos de muestreo, seguido de una prueba de Tukey. Para las comparaciones entre variables fisicoquímicas como pH y conductividad y la concentración de los metales por períodos, se realizaron correlaciones de Pearson. Los análisis se realizaron en el programa STATISTICA versión 10.0.

## RESULTADOS

### Selección de sitios

Se georreferenciaron las poblaciones más representativas de *Typha latifolia* en el lago Yahuarcocha y se procesaron en el programa Arc GIS 10.6. Existen en el lago cuatro áreas con una densidad media de 250 individuos por metro cuadrado: Sitio 1, orilla del lago junto a la planta de tratamiento de aguas residuales (N 0° 21' 56" ; O 78° 5' 59") cercano al asentamiento

San Miguel de Yahuarcocha; Sitio 2, orillas del lago junto a la pista automovilística principal (N 0° 22' 45" ; O 78° 5' 39"); Sitio 3, orilla del lago junto al muelle de la estación de bomberos (N 0° 22' 38" ; O 78° 5' 60"); Sitio 4, orillas del lago junto al muelle principal (N 0° 22' 35" ; O 78° 6' 12"). Para realizar comparaciones se muestreó el Sitio 5 que es un área donde no existían poblaciones de *T. latifolia*, este sitio es el sumidero del lago al caudal del río Tahuando (N 0° 22' 31" ; O 78° 6' 39") (Fig. 1).



**Figura 1.** Áreas de mayor densidad de población de *Typha latifolia* en el lago Yahuarcocha. Sitio1, planta de tratamiento de aguas residuales; Sitio 2, pista automovilística principal; Sitio 3, muelle de la estación de bomberos; Sitio 4, muelle principal; Sitio 5, sumidero del lago al caudal del río Tahuando (sin *T. latifolia*).

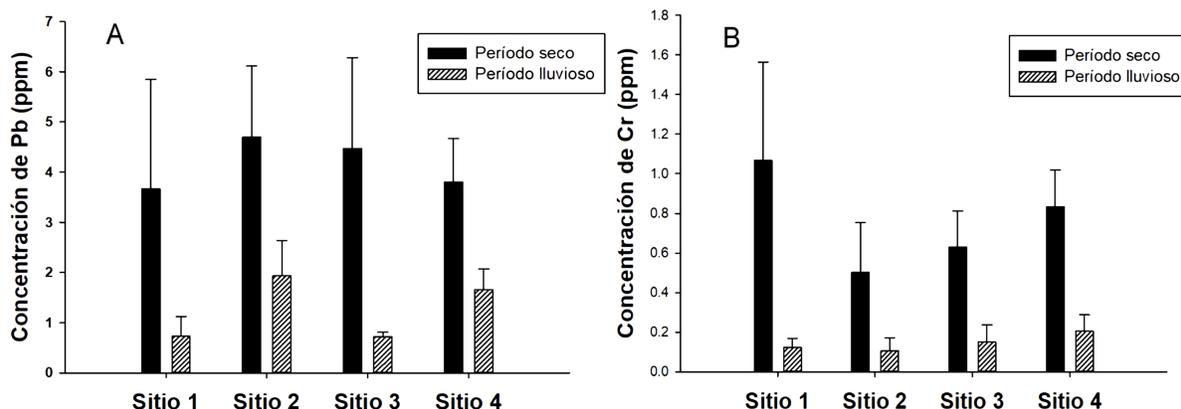
**Figure 1.** Areas of high density of *T. latifolia* in Yahuarcocha lake. Site1, wastewater treatment plant; Site 2, main auto track; Site 3, boat dock at fire station; site 4: main boat dock; Site 5: lake sink (without *T. latifolia*).

### Variación de la concentración de metales por período y por sitio de muestreo

La concentración de plomo y cromo en la raíz, suelo, sedimento y agua son significativamente diferentes entre los dos períodos de muestreo. Por tanto, la cantidad de plomo y cromo absorbido por la planta y la concentración de estos metales dependió de la cantidad de pluviosidad del período de colecta. En la raíz la concentración de plomo fue 4 - 5 ppm en

período seco y 1 - 2 ppm en período lluvioso. La concentración de cromo mostró un rango de 0,5 - 1 ppm en período seco y 0,1- 0,2 ppm en período lluvioso (Fig. 2).

La concentración de ambos metales en la raíz de las plantas no fue estadísticamente diferente en los sitios de muestreo, lo cual sugiere que la absorción de metales por las plantas de las diferentes poblaciones del lago Yahuarcocha es similar.

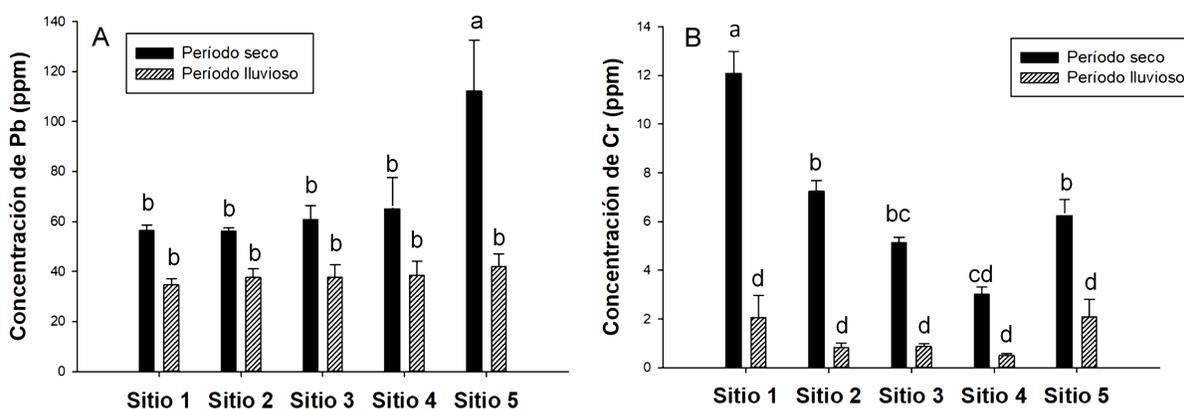


**Figura 2.** Concentración de plomo (A) y cromo (B) en la raíz de *Typha latifolia* en cuatro sitios de muestreo en el lago Yahuarcocha. ANOVA bifactorial, factor sitio y factor período. No se detectaron diferencias significativas entre los sitios. Se detectaron diferencias significativas entre el período seco y lluvioso, ( $p < 0,05$ ). Se muestran los valores medios y el error estándar;  $n = 3$ .

**Figure 2.** Concentration of lead (A) and chromium (B) in the root of *Typha latifolia* plants at four sampling sites. Two-way ANOVA, categorical variables: site and period. No significant differences between sites were detected. Significant differences between period, ( $p < 0,05$ ). Mean values and standard error are shown;  $n = 3$ .

La concentración de plomo en muestras de suelo fue de 56 -112 ppm en período seco y 35 - 42 ppm en período lluvioso. La concentración de cromo en el período seco registró un rango de 3 - 12 ppm en período seco y 1 - 2 ppm en período lluvioso. El Sitio 5, posee la mayor concentración de plomo

en el lago en el período seco y corresponde al sitio donde no existen poblaciones de la especie en estudio. El sitio 1, en las orillas cercanas a la planta de tratamiento, presenta la mayor concentración de cromo en el período con menor pluviosidad (Fig. 3).

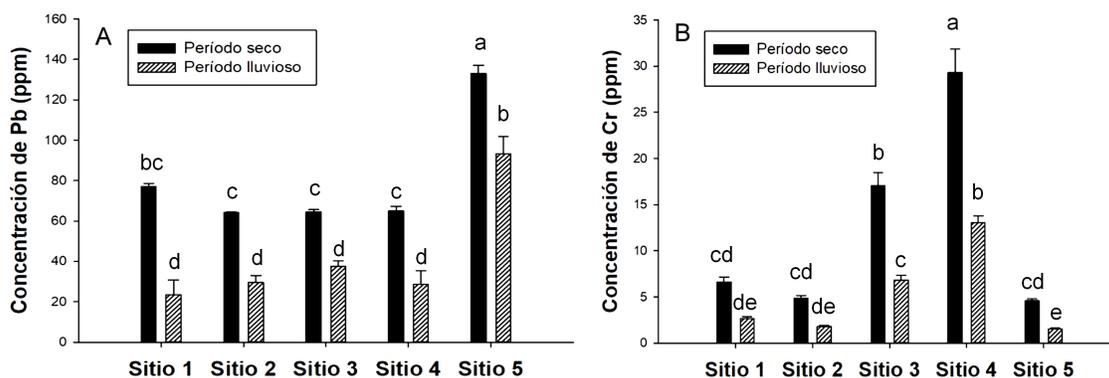


**Figura 3.** Concentración de plomo (A) y cromo (B) en suelo en cinco sitios de muestreo en el lago Yahuarcocha. ANOVA bifactorial, factor sitio y factor período. Se muestran los valores medios y el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), según la prueba de Tukey;  $n = 3$ .

**Figure 3.** Concentration of lead (A) and chromium (B) in soil at five sampling sites in Yahuarcocha lake. Two-way ANOVA, categorical variables: site and period. Mean values and standard error are shown. Different letters indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) according to Tukey test;  $n = 3$ .

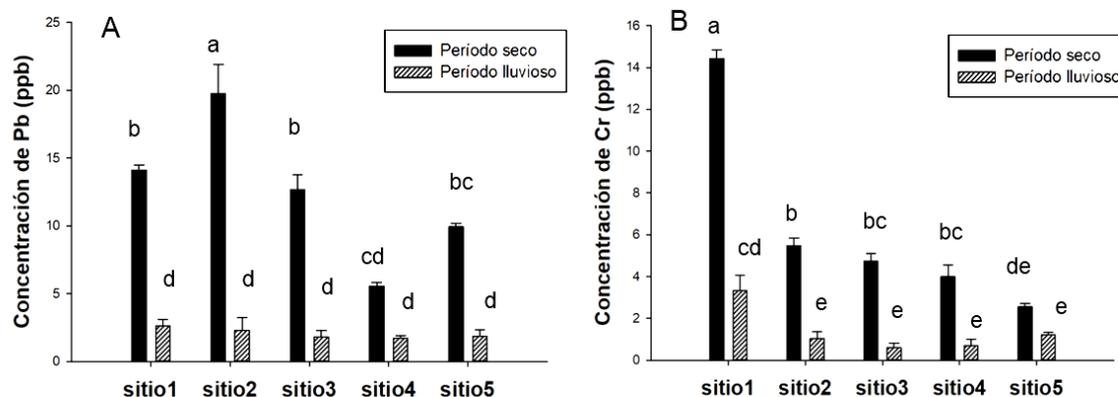
Las mayores concentraciones de plomo y cromo en el lago se detectaron en los sedimentos, la concentración de plomo tuvo un rango de 64 - 133 ppm en período seco y 24 - 93 ppm en período lluvioso. En el caso del cromo tuvo valores de 5 - 29 ppm en período seco y 2 - 13 ppm en período lluvioso. Con relación a la concentración del cromo y plomo en sedimentos, una vez más, el Sitio 5 posee la mayor concentración de plomo de los lugares muestreados y el Sitio 4 mayores concentraciones de cromo (Fig. 4).

Los valores de plomo en agua tuvieron una variación de 6 - 20 ppb en período seco y 2 - 3 ppb en período lluvioso. Los datos de cromo en agua variaron de 4 - 14 ppb en período seco y 1 - 4 ppb en período lluvioso. La mayor concentración de plomo en agua se encontró en el Sitio 2 cercano a la pista automovilística y mientras que la mayor concentración de cromo ocurrió nuevamente en el Sitio 1, aldeaño a la planta de tratamiento (Fig. 5).



**Figura 4.** Concentración de plomo (A) y cromo (B) en sedimentos en cinco sitios de muestreo en el lago Yahuarcocha. ANOVA bifactorial, factor sitio y factor período. Se muestran los valores medios y el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según la prueba de Tukey;  $n = 3$ .

**Figure 4.** Concentration of lead (a) and chromium (b) in sediments at five sampling sites in Yahuarcocha lake. Two-way ANOVA, categorical variables: site and period. Mean values and standard error are shown. Different letters indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) according to Tukey test;  $n = 3$ .



**Figura 5.** Concentración de plomo (A) y cromo (B) en agua en cinco sitios de muestreo en el lago Yahuarcocha. ANOVA bifactorial, factor sitio y factor período. Se muestran los valores medios y el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) según la prueba de Tukey;  $n = 3$ .

**Figure 5.** Concentration of lead (A) and chromium (B) in water at five sampling sites in Yahuarcocha lake. Two-way ANOVA, categorical variables: site and period. Mean values and standard error are shown. Different letters indicate significant differences ( $p < 0,05$ ) according to Tukey test;  $n = 3$ .

*Correlaciones entre factores fisicoquímicos y concentración de metal en la raíz de T. latifolia*

El pH y la conductividad del agua mostraron diferencias significativas en los períodos seco y lluvioso según t-student. El pH de las muestras de agua en período seco fue  $8,8 \pm 0,09$  y en el período lluvioso fue  $7,8 \pm 0,07$ . La conductividad en período seco registró un valor medio de  $626 \pm 9,8 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  y  $562 \pm 8,1 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$  en el período lluvioso. El coeficiente de correlación de Pearson se calculó entre las concentraciones de los metales en las raíces de *T. latifolia* y los parámetros fisicoquímicos del agua circundante. Los valores bajos del coeficiente de correlación Pearson muestran que no existe asociación entre ninguna de las variables tanto en período seco como lluvioso (Tabla 2).

**Tabla 2.** Coeficiente de correlación de Pearson entre la concentración de metal de *T. latifolia* en la raíz con el pH y conductividad del agua circundante de las poblaciones en el lago Yahuarcocha.

**Table 2.** Pearson correlation coefficient between the metal concentration of *T. latifolia* in the root with the pH and conductivity of the surrounding water of the populations in Yahuarcocha lake.

	Período seco		Período lluvioso	
	pH	Conductividad	pH	Conductividad
Pb	r = 0,5967	r = 0,7549	r = 0,704	r = - 0,1771
	p = 0,295	p = 0,245	p = 0,403	p = 0,823
Cr	r = 0,7931	r = - 0,3964	r = 0,731	r = - 0,048
	p = 0,207	p = 0,604	p = 0,268	p = 0,957

*Coefficiente de concentración del metal*

Con referencia al factor de concentración que es la relación entre de la cantidad de plomo y cromo contenidos en la raíz y el sustrato sedimento, los valores obtenidos para el plomo varían de 0,04 en período lluvioso a 0,06 en período seco, en cambio con respecto al metal cromo varia de 0,04 en período lluvioso y 0,08 en período seco.

*Comparación de resultados con normativas de calidad de suelo, sedimento y agua*

La comparación entre los resultados obtenidos en las muestras de suelo circundante al sitio donde se tomaron las muestras de las plantas y la normativa ambiental vigente en Ecuador muestra que los valores de plomo en los dos períodos sobrepasan los límites permisibles, mientras que para el cromo no ocurre lo mismo, con valores muy bajos en comparación a los valores de la normativa. La concentración de los metales en el sedimento registró los valores máximos de los estratos analizados en esta investigación, para el plomo las concentraciones están sobre los límites permitidos de los índices tomando como referencia la normativa canadiense, en el caso del cromo los valores se mantienen bajo este rango. Las concentraciones de plomo en las muestras de agua sobrepasan los valores permisibles según la normativa de Estados Unidos, sin embargo, de acuerdo a la normativa ambiental vigente en Ecuador están en rangos permitidos (Tabla 3).

**Tabla 3.** Valores máximos de plomo y cromo registrados en este estudio en las muestras de suelo, sedimento y agua comparados con estándares de calidad en: Ecuador, USA, Canadá.

**Table 3.** Maximum values of lead and chromium recorded in this study in the soil, sediment and water compared to quality standards in Ecuador, USA, Canada.

Estrato	Pb	Cr	
Suelo (ppm)	Período lluvioso (este estudio)	42	2
	Período seco (este estudio)	112	12
	Ecuador (Acuerdo 097A-2015)	19	54
Sedimento (ppm)	Período lluvioso (este estudio)	93	13
	Período seco (este estudio)	133	29
	Canadá (ISQG)	37,3	35,0
	Canadá (PEL)	90,0	91,3
Agua (ppm)	Período lluvioso (este estudio)	0.003	0.004
	Período seco (este estudio)	0,02	0,014
	Blomme (2014)	0,0004	0,003
	USA (EPA-1986)	0,0015	0,1
	Ecuador (Acuerdo 097A-2015)	0,2	0,5

## DISCUSIÓN

Las mayores concentraciones de los metales en raíz, suelo, sedimento y agua se encontraron en el período seco, esto pudiera deberse a que el volumen de agua presente en el medio influye en la concentración de plomo y cromo en el lago. La reducción en la concentración de metales durante el período lluvioso puede deberse a que existe mayor escorrentía en el lago, por esta razón el cuerpo de agua atraviesa un proceso de autodepuración (Terneus y Buñay, 2014). No se registraron diferencias estadísticas en la concentración de metales en las muestras de raíz provenientes de los diferentes sitios, aunque podría esperarse diferencias por la cercanía de algunos sitios de muestro a potenciales fuentes contaminantes como la pista automovilística principal, la planta de tratamiento de aguas residuales y la estación de bomberos.

País y Jones (2000) plantearon que concentraciones de cromo superiores a 10 ppm producen efectos tóxicos en las plantas. En las poblaciones de *T. latifolia* en el lago Yahuarcocha el valor mayor de concentración de cromo fue 1 ppm, valor muy por debajo del valor considerado tóxico, y se encontró en las plantas que se localizan cerca de la planta de tratamientos de aguas (Sitio 1). Suelos en los que crece *T. latifolia* han presentado hasta 90 ppm de cromo (Chitimus *et al.*, 2016), en nuestro caso las mayores concentraciones de cromo en el suelo (12 ppm) se detectaron también en la orilla cercana a la planta de tratamiento de agua.

Carranza *et al.* (2008) detectaron concentraciones de plomo y cromo de 25 ppm y 60 ppm respectivamente en *T. latifolia* en una laguna en San Luis Potosí. Otro estudio informó valores de 13 ppm de plomo y 44 ppm de cromo en raíces de *T. latifolia* (Sasmaz *et al.*, 2008). Las concentraciones de plomo y cromo en las poblaciones estudiadas en el lago Yahuarcocha se pueden considerar como bajas si se comparan con los estudios antes citados. En sitios no contaminados el contenido de plomo de una planta oscila entre 0,5 y 3 ppm (Kabata y Pendias, 2001), nosotros encontramos 5 ppm de plomo en las raíces valor que está cercano al límite superior. Este resultado pudiera indicar que el lago aún no está en un estado crítico de contaminación con respecto al plomo o que las plantas no están absorbiendo el metal en grandes cuantías.

En los estudios realizados por Kofi-Anning y Akoto (2018), se informó que al tomar varias muestras de suelo en lugares asociados a *T. latifolia* encuentran el plomo como el metal más abundante con 584 ppm en comparación con otros metales tóxicos. En nuestro estudio el plomo presenta concentraciones elevadas en el período seco en el Sitio 5 donde no existen poblaciones de ninguna macrofita. La ausencia de estas macrofitas puede ser la razón para que se encuentren valores altos de metales ya que no existe absorción de metales por *T. latifolia*.

Las mayores concentraciones de plomo y cromo en el lago se encontraron en los sedimentos superficiales. Gupta *et al.* (2009) señalan que los sedimentos son reservorios de metales y contaminantes en los ecosistemas acuáticos. Los organismos que están en contacto con los mismos pueden acumular los metales, lo que resulta en un riesgo para la salud humana y del ecosistema. Samsaz (2008) encontró 10 ppm de plomo en sedimentos donde en *T. latifolia* estaba asociada. En el lago Yahuarcocha encontramos una concentración 14 veces superior en período seco en el Sitio 5 donde no existen poblaciones de *Typha*. Strungaru (2015) también registró altas concentraciones de plomo y cromo en lugares donde no existían poblaciones de *T. latifolia* en el río Nicolina en Rumania. Estos resultados indican el papel que puede jugar *T. latifolia* en la remoción de metales tóxicos en los ecosistemas acuáticos.

La concentración de cromo en el lago está por debajo de otros reportes, por ejemplo, Samsaz (2008) encontró 60 ppm. En nuestro estudio la mayor concentración de cromo fue 30 ppm en sedimentos del Sitio 4, valor que está por debajo de lo informado en otros estudios. Estos resultados refuerzan la hipótesis que el lago Yahuarcocha aún no presenta una gran contaminación con metales tóxicos, aunque no se puede desatender el cuidado ambiental.

En las muestras de agua, las cantidades medidas fueron mínimas y se encuentran en partes por billón (ppb), la razón radica en que solamente se puede encontrar concentraciones significativas de metales en el agua cuando la descarga del contaminante es reciente. Los iones metálicos son generalmente poco solubles en agua, por lo que se alojan en los sedimentos superficiales a lo largo del tiempo (Brankovic *et al.*, 2011).

La mayor cantidad registrada de plomo fue en el Sitio 2 (en periodo seco), donde se desarrollan actividades automovilísticas esporádicas y la de cromo una vez más, en el Sitio 1, al igual que el suelo, lo que hace suponer que las actividades agrícolas en este sector son las fuentes de cromo para el medio.

Los resultados obtenidos no asocian los parámetros fisicoquímicos del agua circundante con la concentración encontrada en la raíz de *T. latifolia*. Sin embargo, se puede notar una disminución del pH y la conductividad del agua en período lluvioso con respecto al período seco. Este resultado indica que en el período seco se concentran una serie de iones, lo que aumenta la conductividad y el pH del agua circundante de las poblaciones. Yu *et al.* (2000) reportaron que un medio ácido es propicio para la absorción de metales por la planta. Sin embargo, en el presente estudio se encontraron valores muy cercanos al neutro con tendencia a la alcalinidad, con mayor absorción de la planta en el período seco. Resultados similares encontró Strungaru (2015), pues con el incremento de la alcalinidad y conductividad detectó mayor concentración de plomo en las hojas, una posible adaptación de esta especie a ambientes alcalinos. El mismo autor recalcó que existe correlación entre la alta conductividad y el almacenamiento de metales en las hojas. La absorción de los metales por la planta puede estar afectado por un sinnúmero de variables como los parámetros fisicoquímicos del agua. Inclusive se pueden dar interacciones con bacterias y hongos que puedan favorecer o disminuir la absorción de metales por la planta (Sharma *et al.*, 2018).

Samsaz *et al.* (2008) utilizaron el índice factor de transferencia para expresar la capacidad de absorción de *T. latifolia*, y registraron 0,91 para el plomo y 0,35 para el cromo. Por otro lado, Strungaru *et al.* (2015) en el río Nicolina en Rumania informaron valores del factor de concentración mucho menores para el plomo (0,018) y cromo (0,02). En nuestro estudio el factor de concentración del plomo y el cromo fue 0,06 y 0,08 respectivamente, mostrando valores intermedios en comparación con los estudios citados anteriormente. Estos resultados permiten plantear que *T. latifolia* en el lago Yahuarcocha presentó una capacidad intermedia de absorción de los metales Pb y Cr.

Los sedimentos y el suelo son los estratos más contaminados en el lago Yahuarcocha y llegaron a

niveles altos en especial en el punto sin poblaciones de la especie en estudio. Sin embargo, la toxicidad que representa estos valores afecta a todas las especies vivas que se desarrollan en este hábitat de orilla como es el crustáceo *Procambarus clarkii*, que en estudios del Instituto Nacional de Pesca del Ecuador reporta niveles altos de mercurio, cadmio y plomo en sus tejidos. Aunque los niveles de metales en general no representan niveles de contaminación extrema, hay que tomar en cuenta que estas sustancias tóxicas pueden causar daños incluso en cantidades bajas y aún más con la capacidad de bioacumularse en tejidos vivos tanto en plantas como animales.

El agua no sobrepasa los límites permisibles de los estándares analizados, solo existe valores por encima del límite para el plomo al compararlos con los estándares de la EPA. Según Brankovic *et al.* (2011), las concentraciones bajas de los metales en agua obedecen a un proceso de depósito, donde las formas menos solubles son acumuladas en el sedimento y que las concentraciones de estos contaminantes en agua serán altas solo cuando ha ocurrido una contaminación actual. En este estudio se constató que la concentración de Pb actual en el agua es 50 veces más alta que en el momento que Blomme (2014) realizó el estudio. Este aumento drástico de las concentraciones de Pb en solo seis años constituye un peligro para el ecosistema del lago.

Las actividades humanas realizadas en los alrededores como la agricultura, los deportes motorizados y descargas tanto residuales como de escorrentías de sitios aledaños en el lago Yahuarcocha causan un deterioro ecológico y son fuente de contaminantes de metales tóxicos. Existe una diferencia significativa entre períodos, siendo el período seco el de mayor concentración de metales en la raíz, suelo, sedimento y agua. Los puntos más contaminados referente a plomo en suelo y sedimento se ubican en el sitio muestreado donde no existen poblaciones de la especie. El Sitio 1, aledaño a la planta de tratamiento y cercano a la población de San Miguel de Yahuarcocha, registra las concentraciones más altas de cromo en el suelo y agua. La concentración de metales en el agua no excede los límites permisibles para cuerpos de agua naturales sin embargo ha aumentado en comparación con estudios anteriores. Los altos niveles de plomo en el Sitio 5 donde no existen poblaciones de *T. latifolia*,

pueden evidenciar su rol en la depuración de contaminantes en el ecosistema lacustre. Los altos niveles de cromo en el Sitio 1 cerca de la planta de tratamiento tiene como fuente actividades que se desarrollan a los alrededores como la agricultura con uso de pesticidas. La identificación de áreas con mayor concentración de los metales puede ser una herramienta de gran utilidad para realizar futuros estudios de remediación ambiental del ecosistema lacustre.

### AGRADECIMIENTOS

Un reconocimiento especial al personal del Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad de La Habana, por la ayuda, guía y facilidades brindadas para la consecución de este proyecto. A la Universidad Técnica del Norte por su apoyo para realizar esta investigación y uso de los laboratorios para los análisis. A las estudiantes de pregrado Evelyn Salcedo, Patricia Méndez y Fernanda Benavidez, por el apoyo logístico durante la ejecución del proyecto de investigación.

### LITERATURA CITADA

- Agnieszka, K., A. Maciol, M. Wislocka y J. Krawczyk. (2013). Metal accumulation and distribution in the organs of *Typha latifolia* L. (cattail) and their potential use in bioindication. *Limnologica* 43: 164-168.
- Bonanno, G. y G. Luigi-Cirelli (2017). Comparative analysis of element concentrations and translocation in three wetland congener plants: *Typha domingensis*, *Typha latifolia* and *Typha angustifolia*. *Ecotoxicol. Environ.* 143: 92-101.
- Blomme, J. (2014). General limnology and zooplankton ecology of two tropical high-altitude lakes in Northern Ecuador: Mojanda & Yahuarcocha. Master's Degree Thesis. KU Leuven, Kortrijk, Belgium.
- Brankovic, S., D. Pavlovic-Muratspahic, M. Topuzovic, R. Glisic, et al. (2011). Environmental study of some metals on several aquatic macrophytes. *Afr. J. Biotech.* 10(56): 11956-11965.
- Carranza-Álvarez, C., A. J. Alonso-Castro, M. C. Alfaro-De La Torre y R. F. García-De La Cruz (2008). Accumulation and distribution of heavy metals in *Scirpus americanus* and *Typha latifolia* from an artificial lagoon in San Luis Potosí, México. *Water Air Soil Pollut.* 188(1-4): 297-309.
- CCME (2001). Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life. Canadian council of Ministers of the Environment. Disponible en: [https://www.elaw.org/system/files/sedimentsummary\\_table.pdf](https://www.elaw.org/system/files/sedimentsummary_table.pdf). Último acceso: 11 de abril de 2020.
- Chitimus, A., C. Radu, V. Nedeff, E. Mosnegutu, et al. (2016). Studies and research on *Typha latifolia*'s (bulrush) absorption capacity of heavy metals from the soil. *Sci. Study. Res. Chem. Chem. Eng. Biotechnol. Food Ind.* 17 (4): 381-393.
- Erazo, A. y B. Jaramillo. (2005). Evaluación de impacto ambiental y propuesta del plan de manejo de los procesos de la primera etapa de la Laguna de Yahuarcocha. Tesis de Diploma. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
- Fu, J., C. Zhao, Y. Luo, C. Liu, et al. (2014). Heavy metals in surface sediments of the Jialu River, China: their relations to environmental factors. *J. Hazard. Mater.* 270: 102-109.
- Gupta, A, D. K. Rai, R. S. Pandey y B. Sharma. (2009). Analysis of some heavy metals in the riverine water, sediments and fish from river Ganges at Allahabad. *Environ. Monit. Assess.* 157: 449-458.
- Han, J., F. Chen, Y. Zhou y C. Wang. (2015). High Pb concentration stress on *Typha latifolia* growth and Pb removal in microcosm wetlands. *Water Sci. & Technol.* 71(11):1734-1741.
- Kabata-Pendias, A. y H. Pendias. (2001). Trace elements in soils and plants. CRC Press, Washington, D.C. 293 pp.
- Kofi-Anning, A. y R. Akoto. (2018). Assisted phytoremediation of heavy metal contaminated soil from a mined site with *Typha latifolia* and *Chrysopogon zizanioides*. *Ecotoxicol. Environ.* 148: 97-104.
- Leura-Vicencio, A., A. J. Alonso-Castro, C. Carranza-Álvarez, R. Loredo-Portales, et al. (2013). Removal and accumulation of As, Cd and Cr by *Typha latifolia*. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 90(6): 650-653.
- Li, Y., H. Zhang, X. Chen, C. Tu, et al. (2014). Distribution of heavy metals in soils of the Yellow River Delta: concentrations in different soil horizons and source identification. *J. Soils Sediments* 14 (6): 1158-1168.
- Mandonx, T. (2014). Trophic status and phytoplankton ecology of two lakes in northern Ecuador: Yahuarcocha & Mojanda. Master's Degree Thesis. KU Leuven, Kortrijk, Belgium.
- Maridueña, A., N. Chalén, D. Coello, J. Cajas, et al. (2011). Mortalidad de peces en la laguna de Yahuarcocha, Cantón Ibarra, Provincia de Imbabura. *Boletín Especial* 2(1): 1-21.

- Núñez, S., J. Negrete., J. Ríos., H. Hadad, *et al.* (2011). Hg, Cu, Pb, Cd, and Zn accumulation in macrophytes growing in tropical wetlands. *Water Air Soil Pollut.* 216: 361-373.
- Pabón, G., D. Reascos, L. Yépez, T. Oña, *et al.* (2012). Actualización del plan de manejo integral de la microcuenca hidrográfica de Yahuarcocha, Provincia de Imbabura. Reporte Universidad Técnica del Norte, Ecuador.
- Pabón, J. (2015). Distribución y evaluación de la vegetación macrofítica en el lago de Yahuarcocha. Tesis de Diploma. Universidad Técnica del Norte. Ecuador.
- País, I. y J. B., Jones. (2000). *The handbook of trace elements.* St. Luice Press, Florida. 240 pp.
- Pal-Singh, H., P. Mahajan, S. Kaur, D. Batish, *et al.* (2013). Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environ. Chem. Lett.* 11(3): 229-254.
- Pourrut, B., S. Muhammad, D. Camille y P. Winterton. (2011). Lead uptake, toxicity and detoxification in plants. *Rev. Environ. Contam. Toxicol.* 213:113-136.
- Prasad, M. N. V., M. Greger y B. N. Smith. (2001). Aquatic Macrophytes. En Prasad M. N. V. (Ed): *Metals in the Environment - Analysis by Biodiversity.* Marcel Dekker Inc. USA. pp. 259-288.
- Sasmaz, A. J., E. Obek y H. Hasar. (2008). The accumulation of heavy metals in *Typha latifolia* L. grown in a stream carrying secondary affluent. *J. Mater. Environ. Sci.* 6(6): 278-284.
- Sharma, S., L. T. Kishan y K. J. Shailesh. (2018). Diversity of fungal endophytes in *Typha latifolia* (L.) and their lead bio-sorption activity. *Euro-Mediterr. J. Environ. Integr.* 3(4): 1-8.
- Strungaru, S., M. Nicoara, O. Jitar y G. Plavan. (2015). Influence of urban activity in modifying water parameters, concentration and uptake of heavy metals in *Typha latifolia* L. into a river that crosses an industrial city. *J. Environ. Health Sci. & Eng.* 1(13): 1-11.
- Sudarsan, J., R. Annadurai, K. S. Kumar, y S. Nithiyamanthan. (2018). Heavy metal removal using different parts of *Typha latifolia*. *J. Bionanosci.* 12: 1-5.
- Terneus, E. y D. Buñay. (2014). Efectos del embasamiento de las lagunas de Mogotes y Loreto sobre las poblaciones de truchas y las comunidades macrófitas en el sector de Papallacta. Tesis de Diploma. Universidad Internacional del Ecuador. Ecuador.
- Weis, J. y P. Weis. (2004). Metal uptake, transport and release by wetland plants: implications for phytoremediation and restoration. *Environ. Int.* 30: 685-700.
- Yu, K. C., L. J. Tsai, S.H Chen y S. T. Ho. (2000). Chemical binding of heavy metals in anoxic river sediments. *Water Res.* 35(17): 4086-4094.

