



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- SCOPUS
- Compendex
- Chemical Abstracts
- Metal Abstracts
- World Aluminium Abstracts
- Mathematical Reviews
- Petroleum Abstracts
- Current Mathematical Publications
- MathSci
- Revenct
- Materials Information
- Periódica
- Actualidad Iberoamericana

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

"Buscar la verdad y afianzar los valores trascendentes", misión de las universidades en su artículo primero, inspirado en los principios humanísticos. Ley de Universidades 8 de septiembre de 1970.

Phytoaccumulation and translocation of chromium in *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* during the treatment of contaminated effluents

Charity Elizabeth Andrade Ruiz^{1*} , Ana Beatriz Cáceres² , Alexandra Lisbet Vera Bonilla³, Grisbet Araujo¹, Ever Darío Morales Avendaño⁴ 

¹Laboratorio de Química Ambiental, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Apartado (526), Maracaibo, Venezuela.

²Laboratorio de Desarrollo de Métodos Analíticos, Facultad Experimental de Ciencias, Universidad del Zulia, Apartado (526), Maracaibo, Venezuela.

³Laboratorio de Química Analítica, Facultad de Agronomía, Universidad del Zulia, Apartado (15205), Venezuela.

⁴Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Guayaquil, Apartado (090514), Ecuador.

Autor de contacto: charityandrade@hotmail.com

<https://doi.org/10.22209/rt.v43n1a04>

Recepción: 02/12/2018 | Aceptación: 30/10/2019 | Publicación: 20/12/2019

Abstract

Plants can remove metals from aqueous systems, based on strategies such as metal exclusion; or by its accumulation in leaves and pseudostem in non-toxic form. The capacity of phytosorption and translocation of *Pistia stratiotes* and *Eichhornia crassipes* was evaluated, exposing them to Cr(VI): 5, 10, 25 and 50 mgL⁻¹. The experimental units consisted of glass bottles containing 0.5L of synthetic effluent, fertilizer and one plant per container. These were maintained with luminous intensity 106±23 μmol quanta m⁻²s⁻¹, light: darkness periods: 12:12h, and 28±2°C. The determination of Cr(VI) was carried out in the medium, at the beginning and every 24h, for 10 days. The Cr(total) in plant was determined at the end of the treatment. The biggest removal was obtained using *Eichhornia* with 98.0 and 97.1% in the treatments at 5 and 10 mgCr (VI) L⁻¹, respectively. While for the same, *Pistia* removed 80.2 and 74.0%. The highest bioaccumulation was observed at the root level, with a bioaccumulation factor (FB) between 360-370 for *Pistia* and 490-708 for *Eichhornia*. Both plants achieved low values for translocation factor (FT<0.1). The plants showed an efficient bioaccumulation of the metal, following an exclusion mechanism that allows their photosynthetic apparatus not to be affected during the treatment.

Keywords: Aquatic plants; phytotranslocation; bioaccumulation; hexavalent chromium.

Fitoacumulación y translocación de cromo en *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* durante el tratamiento de efluentes contaminados

Resumen

Las plantas pueden remover metales de sistemas acuosos basándose en estrategias como la exclusión del metal; o mediante su acumulación en hojas y pseudotallos en forma no tóxica. Se evaluó la capacidad de fitosorción y translocación de *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, exponiéndolas a Cr(VI):5, 10, 25 y 50mg L⁻¹. Las unidades experimentales consistieron en envases de vidrio conteniendo 0,5L de efluente sintético, fertilizante y una planta por envase. Estos se mantuvieron con intensidad luminosa 106±23μmol quanta m⁻²s⁻¹, periodos luz:oscuridad 12:12h, y 28±2°C. Se realizó la determinación de Cr(VI) en el medio al inicio y cada 24h, durante 10 días. El Cr(total) en planta se determinó al final del tratamiento. La mayor remoción se obtuvo utilizando *Eichhornia* con 98,0 y 97,1% en los tratamientos a 5 y 10 mgCr(VI)L⁻¹, respectivamente. Mientras que, para los mismos *Pistia* removió 80,2 y 74,0%. La mayor bioacumulación se observó a nivel de raíz, con un factor de bioacumulación (FB) entre 360-370 para *Pistia* y 490-708 para *Eichhornia*, ambas plantas lograron valores bajos para el factor de translocación (FT<0,1). Las plantas presentaron una bioacumulación eficiente del metal, siguiendo un mecanismo de exclusión que permite que no sea afectado su aparato fotosintético durante el tratamiento.

Palabras clave: Plantas acuáticas; fitotranslocación; bioacumulación; cromo hexavalente.

Introducción

En Venezuela, los procesos industriales asociados a la industria petroquímica, procesamiento de gas, extracción de carbón, curtiembres, galvanotecnia, producción de pinturas, entre otros procesos, pueden generar efluentes que contienen metales pesados tales como plomo, cromo, arsénico, vanadio y mercurio [1,2].

Estos metales son considerados de gran peligrosidad, por su alta toxicidad incluso a bajas concentraciones. Debido a que no son biodegradables, se generan problemas de acumulación y biomagnificación a lo largo de la cadena trófica [3]. Por ello, se requiere el tratamiento de dichos efluentes industriales antes de ser vertidos a cuerpos de agua, ya que, según el diagnóstico de la problemática ambiental realizado por la Red-ARA [4], en Venezuela sólo el 14,4% de las fuentes emisoras de estos efluentes poseen sistemas de tratamiento para estos. La falta de tratamiento de efluentes se puede vincular a que los procesos clásicamente aplicados para la remoción de metales pesados de aguas contaminadas son de alto costo [5,6].

Entre los tratamientos alternativos empleados, se encuentran los basados en la fitorremediación, tecnología que trata del uso de plantas y microorganismos asociados a éstas, para la descontaminación de suelos, sedimentos o cuerpos de agua. Los procesos de fitorremediación se basan en la capacidad de acumulación de metales (plantas hiperacumuladoras), sistemas de raíces con capacidades de absorción única y selectiva, capacidad de translocación y la habilidad de degradación de los contaminantes. Además, constituye una tecnología respetuosa del ambiente y potencialmente rentable [3, 7-9].

Por lo antes expuesto, en esta investigación se realizó la evaluación de la capacidad de fitoabsorción y translocación por parte de las plantas acuáticas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, expuestas a un efluente sintético contaminado con cromo hexavalente.

Materiales y Métodos

- Plantas acuáticas: se evaluaron las plantas acuáticas flotantes cosmopolitas: *Pistia stratiotes* (L.) de la familia Araceae, colectada de lagunas de agua dulce del Jardín Botánico de Maracaibo, Estado Zulia y *Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms., de la familia Pontederiaceae, colectada del drenaje pluvial de la Vereda del Lago de Maracaibo, Maracaibo, Estado Zulia. Las plantas se hicieron crecer a cielo abierto y luego a nivel de laboratorio para su aclimatación, utilizando para ello un fertilizante comercial.
- Fertilizante: los nutrientes se suministraron con un producto comercial Cathefoliar plus a una

concentración de 0,5 mL L⁻¹ equivalente a nitrógeno (NO₃⁻): 15,0 mg L⁻¹ y fósforo (P₂O₅): 5 mg L⁻¹, con aportes de potasio soluble, magnesio, cinc, manganeso, hierro, cobre, cobalto, boro y molibdeno en proporción menor al 1,0% quelados con EDTA.

- Efluente sintético: la concentración del metal como cromo hexavalente (Cr VI) se adicionó a partir de una solución madre de 1000 mg L⁻¹ preparada con dicromato de potasio sólido K₂Cr₂O₇, 99,8% pureza, Riedel de Haën en agua desionizada.
- Diseño experimental: se construyeron unidades experimentales en los que se emuló el sistema natural de la planta acuática, conformando un diseño completamente al azar, con un correspondiente modelo aditivo lineal $Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$, con 15 grados de libertad con respecto al error.

Las unidades experimentales consistieron en envases cilíndricos de vidrio de 1 L de capacidad, conteniendo 0,5 L de medio contaminado y una planta por envase, se mantuvieron con iluminación artificial, bajo una intensidad luminosa de 106±23 μmol quanta m⁻² s⁻¹, simulando condiciones de luz: oscuridad de 12:12h y bajo una temperatura de 28±2°C.

Se evaluaron cinco tratamientos correspondientes a concentraciones de cromo (VI) de: 5, 10, 25 y 50 mg L⁻¹, frente a un control sin adición del metal, todos los tratamientos se enriquecieron con el fertilizante comercial (0,5 mL L⁻¹). Los tratamientos se realizaron por cuadruplicado, obteniendo 20 unidades experimentales por planta, con un total de 40 unidades.

- Capacidad de fitosorción del cromo y su translocación en las plantas acuáticas: para esto, se procedió a cuantificar el cromo presente en el agua a lo largo del periodo experimental (cromo remanente) y el cromo total fitoabsorbido por cada planta expuesta al metal en los diferentes tratamientos

El contenido de cromo hexavalente en el agua se determinó inicialmente y luego de 1, 3, 5, 24, 48, 72, 96, 120, 144, 168, 192, 240 h, siguiendo el método colorimétrico 3500-Cr B. [10]. La determinación del cromo total en la planta se realizó en las diferentes secciones de esta. Es decir, en raíz, pseudotallo y hoja para *Eichhornia crassipes* y en hoja y raíz para *Pistia stratiotes*. Para ello se realizó una extracción ácida con HNO₃ grado analítico y H₂O en relación (3:1) utilizando ultrasonido y se determinó su contenido mediante un ICP-MS marca AGILENT TECHNOLOGIES 7500.

Factor de translocación (FT): se determinó de acuerdo a Zhang [11] y Olivares y Peña [12] a través de la

relación entre el contenido de metal en la estructura aérea y la sumergida (raíz), según la ecuación: $FT = [\text{Cr parte aérea}]/[\text{Cr raíz}]$.

Factor de bioacumulación (FB): se calculó de acuerdo a lo establecido por Olivares y Peña [12] tomando en cuenta la concentración del metal en la planta y en el agua, según la ecuación: $FB = [\text{Cr tejido vegetal (parte aérea y raíz)}]/[\text{Cr agua}]$.

A partir de los resultados obtenidos de esta manera, se procedió a determinar los porcentajes de remoción del metal en el agua (fitoabsorción) y a su vez la distribución porcentual de este en la planta.

- Análisis estadístico: En la determinación de la capacidad de bioabsorción del metal en la planta se aplicó una Prueba "t" para muestras relacionadas, a fin de establecer diferencias significativas entre los valores de remoción para cada tratamiento evaluado, en función del tipo de planta, empleando en programa Minitab 17.0. La expresión de resultados en general, corresponde al cálculo de valores promedio entre un número mínimos de tres valores, además del establecimiento de las desviaciones estándar.

Resultados y Discusión

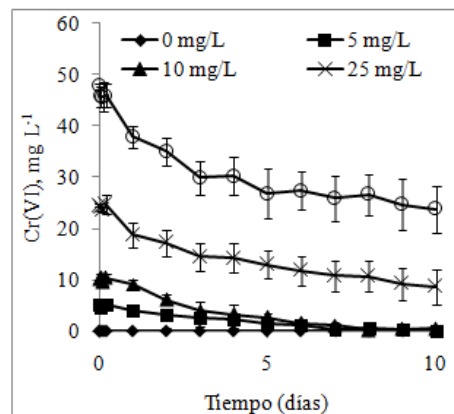
Remoción de cromo hexavalente del efluente por las plantas bajo estudio *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.

En general, para todos los tratamientos se alcanzó una remoción efectiva del metal del medio acuoso. Sin embargo, las plantas sometidas a concentraciones de hasta 10 mg Cr (VI) L⁻¹ lograron un desarrollo vegetativo adecuado. Mientras que, los tratamientos con 25 y 50 mg L⁻¹ mostraron daños observables a partir de los primeros días de exposición (4 a 6 días), para *P. stratiotes*, mientras que, *E. crassipes* lo hizo a 50 mg L⁻¹, lo cual indica que estos niveles de metal ejercen un efecto adverso en la producción de biomasa y el contenido de clorofila total en la planta, y por ello impide el adecuado desarrollo de la misma.

El monitoreo de la concentración de Cr(VI) en el medio contaminado se realizó transcurrida 1, 3 y 5 horas, dado que, en experiencias previas con plantas emergentes la remoción del metal se inicia en cuestión de horas [13]. Sin embargo, para este periodo no se reportó una remoción significativa del metal (Figura 1). No obstante, las máximas remociones se obtuvieron durante las primeras 72 h, a una tasa de 3 a 4 mg Cr(VI) L⁻¹d⁻¹ para altas concentraciones de metal (25 y 50 mg L⁻¹). Mientras que, los tratamientos con concentraciones menores o iguales a 10 mg L⁻¹ de Cr(VI), presentaron un descenso gradual con una tasa de reducción menor a 1,5 mg L⁻¹ d⁻¹, en ambas plantas.

Este patrón de remoción de Cr(VI) concuerda con lo reportado por Benítez y colaboradores [14], quienes indican que la acumulación de metales pesados en diversas plantas y grupos de algas, presenta una fase rápida independiente de la energía metabólica, en la que los metales entran por transporte pasivo o se adhieren a la superficie celular. En esta fase del proceso de bioadsorción intervienen tanto moléculas de la pared celular como las biopelículas de microorganismos, sin gasto de energía intracelular y con alta eficiencia a bajas concentraciones. Por su parte, la exposición a concentraciones altas, produce la bioacumulación propiamente dicha, en la que los transportadores de iones de metales esenciales de la membrana celular, como el hierro, canalizan el cromo al interior celular y posteriormente su ascenso hasta las hojas [15].

La afectación de *Pistia stratiotes* a concentraciones altas del metal (25 y 50 mg L⁻¹), se evidencia en la Figura 1b, luego de la máxima reducción del metal (72 h), como un periodo en el que no se detectan cambios significativos en la concentración ($p < 0,05$), por el contrario, a partir del día 7 se observan ligeros aumentos de la concentración de cromo en el medio acuoso, lo que pudo ser el resultado de la reincorporación del metal por el deterioro vegetal producto de la muerte de la planta. Este comportamiento no se observó en los tratamientos con *Eichhornia*, que se afectaron en menor grado y cuyos tejidos blandos (hojas y pseudotallos) no estuvieron en contacto directo con el medio acuoso, aunque, de igual manera, la mayor remoción se indicó para las primeras horas (Figura 1a). Los tratamientos con la planta *E. crassipes*, generaron una mayor remoción, obteniendo máximos de 98,0 (4,93 mg L⁻¹) y 97,1% (9,57 mg L⁻¹) en los tratamientos con 5 y 10 mg L⁻¹, respectivamente. A este mismo nivel de concentración *Pistia stratiotes*, logró remociones de 80,2 y 74,0%. Es importante resaltar, que las plantas lograron realizar esta remoción sin reportar alteraciones en su desarrollo. A concentraciones de cromo superiores donde las plantas mostraron daños morfológicos significativos (25 y 50 mg Cr(VI) L⁻¹), se obtuvieron remociones de 78,7 y 70,0% con *E. crassipes* y 60,3 y 60,8% con *P. stratiotes*.



(a)

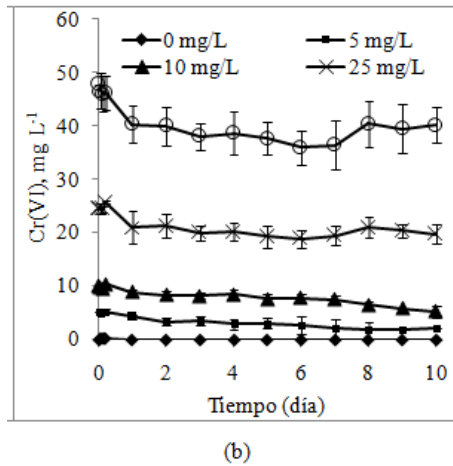


Figura 1. Contenido de Cr(VI) en medio acuoso expuesto al crecimiento de: (a) *E. crassipes*. (b) *Pistia stratiotes*.

La variación en cuanto a la captación del metal por las macrófitas evaluadas puede ser el resultado de diferencias en las características morfológicas en ambas. Es decir, a pesar de que *P. stratiotes* presenta un sistema de raíces fibrosas bien desarrollado, *E. crassipes* la supera en tamaño, e igualmente en su sistema radicular capaz de adsorber/absorber gran cantidad del metal presente en el medio acuoso, como puede comprobarse en los resultados obtenidos.

Estudios anteriores con *Pistia stratiotes* reportaron remociones de Cr(III) de 69,9%, al estar expuesta a medios de cultivo con concentración de 6 mg Cr(III) L⁻¹, los cuales son menores a los encontrados en la presente investigación [16].

El uso de *E. crassipes* logró en un periodo de 10 días, reducir la concentración de medios con 5 y 10 mg Cr L⁻¹, hasta concentraciones de 0,169 y 0,490 mg L⁻¹, entrando el efluente a límites dentro de lo establecido para descargas a cuerpos de agua (2,0 mg L⁻¹) por las normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos (Decreto 883, G.O. N°5.021, 18/12/1995) [17]. De igual manera, el tratamiento con *Pistia stratiotes* a una concentración de cromo de 5 mg L⁻¹, logró una reducción a un nivel de 1,99 mg L⁻¹.

Fitosorción y translocación de cromo en las plantas evaluadas.

En cuanto a los valores del metal en raíz y hoja la planta *Pistia stratiotes* se evidencia que ésta realiza su mayor bioacumulación a nivel de la raíz, donde alcanza concentraciones entre 1850,3 y 4346,3 mg Cr Kg⁻¹, equivalentes al 82,9 y 87,0% del metal presente en la planta, para los tratamientos donde la planta logró un

desarrollo adecuado; mientras que, en los tratamientos donde la planta no mostró tolerancia (25 y 50 mg L⁻¹) se registraron concentraciones elevadas de 5445,0 y 9464,9 mg Kg⁻¹ para tiempos menores de exposición, 6 y 4 días, respectivamente (Figura 2). La determinación del cromo presente en el tejido vegetal de las plantas a concentraciones no toleradas se realizó antes de finalizar el tratamiento, a fin de garantizar la viabilidad del tejido al momento de la medición. Estas cantidades representan el 54,74 y 57,71% del metal en la planta. Se evidencia que a altas concentraciones del metal se induce una mayor translocación del mismo hacia la parte aérea, con factores de bioacumulación (FB) y de translocación (FT) obtenidos (Tabla 1).

La alta fitosorción de *Pistia stratiotes* se refleja en sus correspondientes factores de bioacumulación (FB) los que no mostraron diferencias significativas entre los tratamientos de 5 y 10 mg L⁻¹. Por su parte, la concentración de cromo total en hoja resultó de 10 a 12 veces menor a las encontradas en raíz, lo que se refleja en sus bajos factores de translocación (FT<0,1).

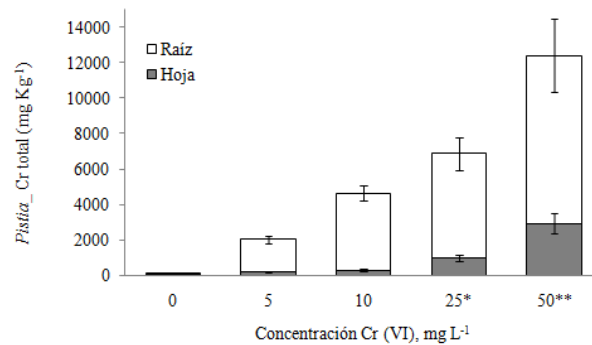


Figura 2. Distribución del cromo total absorbido por *Pistia stratiotes*, evaluados al término del tratamiento (10 días), excepto: *Determinado a los 6 días, **Determinado a los 4 días.

Al exponer la planta a concentraciones mayores de Cr(VI) (25 y 50 mg L⁻¹), se presenta un aumento en el factor de bioacumulación en hoja, asociado a factores de translocación mayores, lo que indica que la mayor disponibilidad del metal en el medio permite que la planta transloque una mayor cantidad del metal a la hoja, posiblemente asociado a la saturación de los sitios de asociación o unión del metal en la raíz, es decir, cuando la cantidad de iones del metal supera el número de sitios de unión a nivel de raíz, se induce al metal a realizar el desplazamiento a zonas menos saturadas, como la parte aérea de la planta. Según Montaya [15], cuando la capacidad de acumulación radicular de cromo está comprometida, es decir, el número de sitios de unión de metal es menor que el número de cationes en el medio, el cromo fluye vía xilema hasta las hojas causando perturbación oxidativa, en membranas, disminuyendo el crecimiento y acumulándose.

En cuanto a la planta *Eichhornia crassipes* expuesta al medio contaminado, se obtuvo una mayor absorción en el orden raíz>pseudotallo>hoja. Para concentraciones del metal tolerables (5 y 10 mg Cr(VI) L⁻¹) se obtuvieron concentraciones de 3540,3 y 4895,7 mg Kg⁻¹ en raíz, que representa el 92,98 y 87,80%, del cromo total en la planta, respectivamente, seguida por 102,1 y 265,1 mg Kg⁻¹ en el pseudotallo con el 4,88 y 10,10% y concentraciones de 54,4 (2,13%) y 89,4 (2,10%) mg Kg⁻¹ en hoja (Figura 3).

Las altas cantidades fitoabsorbidas por la planta y distribuida en las diferentes secciones, da lugar a altos factores de bioacumulación, los cuales son mayores a los obtenidos por *Pistia* para raíz, sin embargo, para hoja son menores. Al igual que con la planta anterior se obtienen bajos valores del factor de translocación.

Al exponer a *E. crassipes* a concentraciones mayores del metal (25 y 50 mg L⁻¹) se registraron mayores factores de bioacumulación y de translocación en hoja y pseudotallo, al igual que ocurrió con *P. stratiotes*.

Sinha y colaboradores [18] realizaron la evaluación del efecto del cromo en la planta *Pistia stratiotes* expuesta a 4,16 mg Cr(VI) L⁻¹ (80 µM) durante 6 días, donde al igual que en el presente estudio reportan una mayor bioacumulación del metal a nivel de la raíz (383,54 mg Kg⁻¹), indicando para hoja valores de cromo total de 106,16 mg Kg⁻¹. Estos valores fueron menores a los presentados en el presente estudio, debido a que la concentración de exposición y el volumen de medio (250 mL) fueron menores a los utilizados en este trabajo.

Por su parte, Benítez [14], al realizar la evaluación de *Eichhornia crassipes* expuesta a concentraciones de cromo Cr(VI) entre 30 y 90 mg L⁻¹, indicaron que el cromo acumulado en la planta aumentó de acuerdo a la concentración inicial del metal en el medio, tal como se obtuvo en esta investigación. Los autores reportan la máxima acumulación durante las primeras 24 horas de exposición, con concentraciones de 4665 y 9373 mg Kg⁻¹ en la parte aérea (hoja y tallo) y 2590 y 7233 mg Kg⁻¹ en la raíz, para concentraciones de exposición de 30 y 60 mg Cr L⁻¹, luego de 15 días. Los valores reportados por estos autores difieren de los obtenidos para *E. crassipes* en esta investigación, en el hecho de que reportan mayores cantidades del metal en el tejido aéreo, sin embargo, esto puede ser consecuencia de la diferencia en los tiempos de exposición de las plantas al metal, indicando que la dinámica de acumulación del metal en hojas, tallos y raíces, es posible que cambie con el tiempo, acotando que en la raíz es donde ocurre inicialmente la mayor acumulación del metal y se distribuye posteriormente.

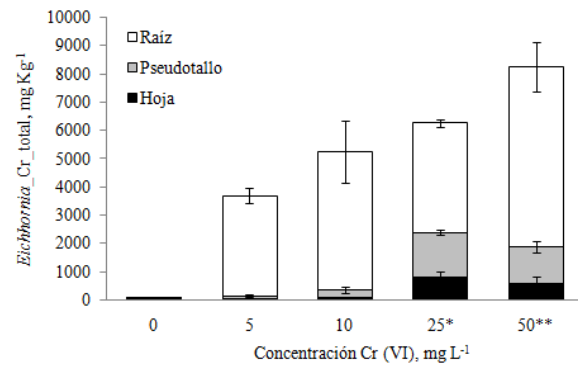


Figura 3. Distribución del cromo total absorbido por *E. crassipes* en las secciones hoja, pseudotallo y raíz, al término del tratamiento (10 días), excepto para las concentraciones no tolerables: *Determinado a los 6 días, **Determinado a los 4 días.

Uno de los factores que influyen en la alta acumulación de cromo en las raíces, es la presencia de grupos cargados como carboxilo, sulfonato, fosforilo, amida o imidazol, presentes en las moléculas de celulosa y proteínas transportadoras de la pared celular. Además, la mayor bioacumulación del metal en la raíz sugiere la inmovilización de este en las vacuolas de las células, evitando el ingreso del metal a la parte aérea de la planta, así como, la generación de radicales libres que producen daños en los cloroplastos [15, 19].

FB: Factor de bioacumulación, FT: Factor de translocación. Determinado a los *6 y **4 días.

Es de resaltar que el hecho de que las dos plantas bajo estudio mostraran una mayor capacidad de bioacumulación a nivel de la raíz, implica un bajo factor de translocación (FT). En este sentido, García [20], establecieron que valores de FT > 1,0 implican una translocación de la raíz a la parte aérea de la planta, siendo este comportamiento característico de las plantas acumuladoras. Mientras que, valores FT < 0,1 como los que se reportan para esta investigación, indican que existe una exclusión del metal dentro del tejido aéreo de la planta, hecho este que se han observado igualmente para plantas de haba y avena, cuando se emplearon concentraciones de 50, 100 y 150 mg Kg⁻¹ del metal en suelos.

En cuanto a los valores encontrados del factor de bioacumulación para las plantas estudiadas, se considera que las mismas son unas potentes bioacumuladoras, puesto que los FB son mayores a los reportados por McGrath y Zhao [21], quienes establecieron que para una eficiente biorremediación es necesario alcanzar valores de FB mayores de 20.

Tabla 1. Factores de bioacumulación y factores de translocación de las plantas *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* expuestas a diferentes concentraciones de Cr(VI), durante 10 días.

| Tratamiento | Sección | Eichhornia crassipes | | Pistia stratiotes | |
|-----------------------|-------------|----------------------|---------------|-------------------|---------------|
| | | FB | FT | FB | FT |
| 5 mg L ⁻¹ | Hoja | 11±2 | 0,016±0,005 | 36±3 | 0,104±0,006 |
| | Pseudotallo | 20±4 | 0,029±0,011 | | |
| | Raíz | 708±55 | | 370±39 | |
| 10 mg L ⁻¹ | Hoja | 9±3 | 0,020±0,008 | 31±8 | 0,068±0,019 |
| | Pseudotallo | 27±6 | 0,051±0,013 | | |
| | Raíz | 444±73 | | 435±44 | |
| 25 mg L ⁻¹ | Hoja | 31±9* | 0,201±0,006* | 50±8* | 0,178±0,066* |
| | Pseudotallo | 64±3* | 0,414±0,031* | | |
| | Raíz | 155±6* | | 218±36* | |
| 50 mg L ⁻¹ | Hoja | 16±4** | 0,100±0,047** | 59±11** | 0,314±0,022** |
| | Pseudotallo | 26±4** | 0,218±0,051** | | |
| | Raíz | 127±18** | | 208±18** | |

Para las plantas acuáticas flotantes, el factor de bioacumulación (FB) es fundamental en su selección como planta fitorremediadora, no siendo así, el factor de translocación (FT); debido a que, al aplicar un ciclo de tratamiento biológico de remediación, las plantas flotantes son extraídas del medio en su totalidad, a diferencia de los sistemas que utilizan macrófitas emergentes, en los que, la translocación del metal es de gran importancia, ya que, por ciclo de tratamiento, se realiza la poda o corte de la parte aérea de la planta, donde es necesario que se encuentre la mayor concentración del metal. Así de esta manera extraer el metal con la parte aérea de la planta y continuar el tratamiento con el crecimiento de la planta a partir de la raíz que se mantiene en el sustrato. Por lo que los valores bajos de FT obtenidos para las plantas flotantes en este estudio no influyen en su establecimiento como excelentes bioacumuladoras de cromo.

Conclusiones

La remoción de cromo del medio contaminado fue mayor con *E. crassipes* con 98,0 y 97,1% en los tratamientos con 5 y 10 mgCr(VI) L⁻¹, respectivamente, mientras que, *P. stratiotes* logró remociones de 80,2 y 74,0%, respectivamente. La remoción se logró sin evidenciar alteraciones en su desarrollo, y generando efluentes con valores aceptables según lo establecido en la normativa venezolana.

La mayor bioacumulación se realizó a nivel de raíz, lo que indica una biorremediación eficiente, y lo que se ve reflejado en sus bajos (<0,1) factores de translocación (FT) para ambas plantas.

Referencias Bibliográficas

- [1] Soto E., Miranda R., Sosa C., Loredó J.: "Optimization of the removal processes of heavy metals from raw water of galvanic industry by chemical Precipitation, Información Tecnológica". Vol.7, No.2, (2006) 33-42.
- [2] Pire M., Palmero J., Araujo I., Díaz A.: "Tratabilidad del efluente de una tenería con presencia de cromo usando un reactor por carga secuencial". Revista Científica, FCV-LUZ, Vol. XX, No.4 (2010) 390-398.
- [3] Vojiant B., Sheikh S., Basri H., Idris M., Anuar M., Mukhlisin M.: "A Review on heavy metals (As, Pb, and Hg) uptake by plants through phytoremediation". International Journal of Chemical Engineering. Article ID 939161, (2011) 31 p.
- [4] Red de Organizaciones Ambientales No Gubernamentales de Venezuela (RedARA). 2011. Aportes para un diagnóstico de la problemática ambiental de Venezuela. 59p. <http://es.slideshare.net/redaravenezuela/aportes-para-un-diagnostico-ambiental-de-venezuela-la-visin-de-la-redara-2011-8151815>
- [5] Paris C., Hadad H., Maine M., Suñe N.: "Eficiencia de dos macrófitas flotantes libres en la absorción de metales pesados". Limnética, Vol.24, No.3-4 (2005) 237-244.
- [6] Ravisankar R.: Bioremediation of chromium contamination-A Review, IJES, Vol.1, No.6 (2014) 20-

- 26.
- [7] Gupta P, Surendra R y Mahindrakar A.: "Treatment of Water Using Water Hyacinth, Water Lettuce and Vetiver Grass - A Review". *Resources and Environment*, Vol.2, No.5, (2012) 202-215, DOI: 10.5923/j.re.20120205.04
- [8] Gutiérrez J, Espino A, Coreño A, Acevedo F, Reyna G, Fernández F, Tomasini A, Wrobel K, Wrobel K.: "Mecanismos de interacción con cromo y aplicaciones biotecnológicas en hongos". *Rev. Latinoam. Biotecnol, Amb. Algal*, Vol.1, No.1 (2010) 47-63.
- [9] Méndez Prieto J, González C, Román A, Prieto F.: "Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua". *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, Vol. 10, No.1, (2009) 29-44.
- [10] APHA-AWWA-WEF: *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22th Edition. USA, American Public Health Association Press, Washington DC.2012.
- [11] Zhang X., Lin A., Chen B, Whang Y, Smith S., Smith F.: "Effects of *Glomus mosseae* on the toxicity of heavy metals to *Vivia faba*", *J. Environ. Sci.*, Vol.18, (2006) 721-726.
- [12] Olivares E., Peña E.: "Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira) creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación". *Interciencia*, Vol. 34(2009) 604-611.
- [13] Vera A., Ramos K, Camargo E, Andrade C., Núñez N., Delgado J., Cárdenas C. y Morales E.: "Phytoremediation of wastewater with high lead content and using *Typha dominguensis* and *Canna generalis*". *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, Vol.39, No.2, (2016) 88-95.
- [14] Benítez R, Calero V., Peña E., Martín J.: "Evaluación de la cinética de acumulación de cromo en el buchón de agua (*Eichhornia crassipes*)". *Biotecnología en el sector Agropecuario y Agroindustrial*, Vol. 9, No.2, (2011) 66-73.
- [15] Montoya W., Peña E., Torres R.: "Variaciones ultraestructurales inducidas por Cromo (VI) en hojas de Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*)". *Limnética*, Vol.34, No.1, (2015) 85-94.
- [16] Meza P.: "Bioabsorción de Pb y Cr usando *Pistia stratioides*". Trabajo de grado presentado ante la ilustre Universidad del Zulia para optar al grado académico de Magister Scientiarum en Ciencias Ambientales. 2012.
- [17] Decreto 883. Normas para la clasificación y el control de la calidad de los cuerpos de agua y vertidos o efluentes líquidos. *Gaceta Oficial Extraordinaria de la República Bolivariana de Venezuela*, N°5.021, fecha 18/12/1995.
- [18] Sinha S., Saxena R, Singh S.: "Chromium induced lipid peroxidation in the plants of *Pistia stratiotes* L.: role of antioxidants and antioxidant enzyme". *Chemosphere*, Vol. 58, (2005) 595-604.
- [19] Da Conceição M., Hauser R, Satika M., Pierre A.: "Plant chromium uptake and transport, physiological effects and recent advances in molecular investigations". *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 140, (2017) 55-64.
- [20] García E., Hernández E., García E. y Acevedo O.: "Contenido y translocación de plomo en avena (*Avena sativa*, L.) y haba (*Vicia faba*, L.) de un suelo contaminado". *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, Vol.17, No.1, (2011) 19-29.
- [21] McGrath S. Zhao F.: "Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils". *Curr. Opin. Biotechnol.* Vol.14 (2003) 277-282.



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 43. N°1, Enero - Abril 2020, pp. 03 - 56 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Diciembre de 2019, por el **Fondo Editorial Serbiluz**, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela*

www.luz.edu.ve

www.serbi.luz.edu.ve

www.produccioncientifica.luz.edu.ve