




Samudio Oggero A, Nakayama HD, Ávalos CR, Cantero Garcia I, Benítez JV, Ayala J, Elkhilili R, Peralta I. Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*. Rev. Soc. cient. Parag. 2021;26(2):100-113.
<https://doi.org/10.32480/rscp.2021.26.2.100>
Recibido: 20/09/2021. Aceptado: 25/10/2021.

ARTÍCULO ORIGINAL
ORIGINAL ARTICLE

Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*

Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*

Antonio Samudio Oggero^{1*} , Héctor David Nakayama¹ , Claudia Raquel Ávalos¹ , Isaura Cantero Garcia¹ , Juan Venancio Benítez¹ , José Ayala¹ , Ryad Elkhilili¹ , Inocencia Peralta¹ 

¹ Universidad Nacional de Asunción, Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas. San Lorenzo, Paraguay.

Autor correspondiente: asamudio@rec.una.py

Resumen: El rápido crecimiento de la población mundial y la consecuente demanda de recursos naturales se reflejan en los problemas medioambientales que afectan a todo el planeta, uno de estos problemas es la creciente contaminación de los recursos hídricos por metales pesados. El Paraguay no escapa a esta problemática, la contaminación de ríos, arroyos y lagos aumenta progresivamente, siendo uno de los componentes más peligrosos el alto contenido de metales pesados. *Typha domingensis*, más conocida como totora (Sudamérica), es una planta palustre, cosmopolita, ampliamente adaptada tanto en la región Oriental como Occidental del Paraguay. Esta especie es estudiada por sus propiedades de biorremediación de aguas contaminadas. En el Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas CEMIT/UNA se llevó a cabo el experimento para evaluar la absorción de metales pesados comúnmente encontrados en aguas residuales: cromo y cobre, en soluciones acuosas, en tres concentraciones diferentes, en tres repeticiones. El diseño utilizado fue el de completamente al azar. En el invernadero del CEMIT se acondicionaron plantas de *T. domingensis* dispuestos en baldes conteniendo 50 L de solución metálica, cada balde contuvo 5 plantas. Las plantas inicialmente fueron aclimatadas por un periodo de 30 días, posteriormente fueron expuestas a las soluciones metálicas. Se tomaron valores de la solución metálica del contenido de cromo, cobre, pH, O₂, T^o, los días 1, 17 y 45, a partir de la



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo Licencia Creative Commons.

exposición, las muestras fueron analizadas en el Laboratorio de Calidad de Aguas del CEMIT/UNA. Se utilizó como testigo soluciones metálicas sin el tratamiento con las plantas de *T. dominguensis* y plantas sin contacto con las soluciones metálicas. Los resultados fueron cotejados por el programa estadístico InfoStat® realizando un ANOVA y test de Tukey. Los resultados indicaron diferencias significativas en la remoción del contenido de cobre y cromo en las tres concentraciones de soluciones metálicas, demostrado de esta manera que la planta tiene la capacidad de absorber metales pesados, sin embargo en los testigos (soluciones metálicas sin plantas) no se observaron cambios en el contenido de estos dos metales.

Palabras clave: *typha dominguensis*, contaminación de recursos hídricos, metales pesados, biorremediación.

Abstract: The rapid growth of world population and the consequent demand for natural resources are reflected in the environmental problems that affect the whole planet, one of these problems is the increasing contamination of water resources by heavy metals. Paraguay does not escape from this problem, the rivers, streams and lakes pollution increases progressively, having the high heavy metals content as one of the most dangerous component. *Typha dominguensis*, better known as totora (South America), is a cosmopolitan marsh plant, widely adapted in both the Eastern and Western regions of Paraguay. This species is studied for its bioremediation properties of polluted waters. In the Multidisciplinary Center for Technological Research CEMIT/UNA, the experiment was carried out to evaluate the absorption of heavy metals commonly found in wastewater: chromium and copper, in aqueous solutions, in three different concentrations, in three repetitions. The used design was completely random. *T. dominguensis* plants were conditioned in the CEMIT greenhouse starting from seeds arranged in buckets with 50 L of metal solution, with 5 plants each bucket. Initially the plants were acclimatized for a 30 days period, later were exposed to metallic solutions. The chromium and copper content, pH, O₂ and temperature values of metallic solution were taken on days 1, 17 and 45 from initial exposure, samples were analyzed in the Water Quality Laboratory of CEMIT/UNA. Metallic solutions without treatment with *T. dominguensis* plants and plants without contact with metallic solutions were used as a control. The results were collated by the statistical program InfoStat® performing an ANOVA and Tukey's test. The results indicated significant differences in the removal of the content of copper and chromium in the three concentrations of metallic solutions, thus demonstrating that the plant has the ability to absorb heavy metals, however in the controls (metallic solutions without plants) it was not observed changes in the content of these two metals.

Keywords: *typha domingensis*, contamination of water resources, heavy metals, bioremediation.

1. INTRODUCCIÓN

Las actividades antropogénicas generan grandes cantidades de compuestos orgánicos y compuestos no biodegradable sin orgánicos que se liberan con frecuencia en el medio ambiente, causan perturbaciones graves y afectan negativamente al ecosistema y la sostenibilidad de la producción biológica. Contaminantes ambientales comunes incluyen compuestos orgánicos, como los disolventes clorados, hidrocarburos de petróleo e hidrocarburos aromáticos policíclicos, compuestos inorgánicos, principalmente metales pesados, tales como plomo, zinc y cadmio, y elementos radiactivos, como el uranio⁽¹⁾.

Los contaminantes metálicos pueden derivar en cambios de la alcalinidad del suelo, dependiendo de la concentración, también contaminan el agua y los cultivos, pueden producir algunas alteraciones en las plantas, también degrada el suelo, lo cual disminuye su productividad, si la contaminación es excesiva, puede llegar a producir desertificación. En los ríos y lagos, también afecta, principalmente a la fauna. El problema de la contaminación del medio ambiente por metales pesados es que su efecto es silencioso⁽²⁾.

El término “metal pesado” refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una relativa alta densidad y sea tóxico o venenoso en concentraciones incluso muy bajas. Los ejemplos de metales pesados o algunos metaloides, incluyen el mercurio (Hg), cadmio (Cd), arsénico (As), cromo (Cr), talio (Tl), y plomo (Pb), entre otros⁽³⁾.

Los metales pesados se encuentran generalmente como componentes naturales de la corteza terrestre, en forma de minerales, sales u otros compuestos. No pueden ser degradados o destruidos fácilmente de forma natural o biológica ya que no tienen funciones metabólicas específicas para los seres vivos⁽⁴⁾. Los metales pesados son peligrosos porque tienden a bioacumularse en diferentes cultivos. La bioacumulación significa un aumento en la concentración de un producto químico en un organismo vivo en un cierto plazo de tiempo, comparada a la concentración de dicho producto químico en el ambiente⁽⁵⁾.

En pequeñas proporciones se pueden incorporar a organismos vivos (plantas y animales) por vía del alimento o también lo pueden hacer a través del agua y el aire como medios de traslocación, dependiendo de su movilidad en dichos medios⁽⁶⁾.

Los métodos físico-químicos clásicos de remediación del ambiente clásicos incluyen la volatilización, la vitrificación, la excavación, el lavado de suelos, la incineración de suelos, extracción química, solidificación y vertedero. A pesar de que estos métodos se han utilizado con mucho éxito en numerosas intervenciones, es innegable que muchos son caros e invasivos, y se toman en cuenta como última opción⁽⁷⁾.

Este escenario ha impulsado la investigación para desarrollar métodos de remediación económicos y ecológicos, estos métodos incluyen la biorremediación. La biorremediación es una tecnología que utiliza el potencial metabólico de los microorganismos (fundamentalmente bacterias, pero también hongos, levaduras y plantas) para transformar contaminantes orgánicos en compuestos más simples poco o nada contaminantes, y por tanto, se puede utilizar para limpiar terrenos o aguas contaminadas⁽⁸⁾. Su ámbito de aplicabilidad es muy amplio, pudiendo considerarse como objeto de cada uno de los estados de la materia⁽⁹⁾.

A principios de los años noventa, el uso de las plantas para eliminar, convertir o secuestrar sustancias peligrosas del medio ambiente se ha convertido en una técnica de remediación prometedora conocida como fitorremediación. La fitorremediación es una de las vertientes de la biorremediación y puede considerarse una tecnología alternativa rentable y sostenible⁽¹⁰⁾. En esta se usan plantas⁽¹¹⁾ y algas que almacenan y eliminan sustancias tóxicas, como metales, mediante procesos metabólicos⁽¹²⁾. Esta estrategia de saneamiento del medio ambiente de bajo costo ha sido el foco de numerosos estudios dirigidos a optimizar su eficiencia, el número y la diversidad de los compuestos contaminantes dirigidos y su idoneidad para el uso en una amplia gama de sitios.

La fitorremediación de aguas contaminadas por metales pesados tiene como principal objetivo la reducción o eliminación de esos contaminantes hasta un nivel en el que no causen efectos adversos en el medio ni sobre la salud humana. Los humedales artificiales son una de las alternativas a los sistemas convencionales y presentan un gran potencial para el tratamiento del agua. Se han empleado ampliamente para el tratamiento de aguas residuales urbanas⁽¹³⁾.

Las plantas tienen el potencial genético para remover metales tóxicos del suelo. Sin embargo, la fitorremediación todavía no es una tecnología disponible comercialmente. Los progresos en el campo están limitados por falta de conocimientos sobre las interacciones en la rizosfera y los mecanismos de las plantas que permiten la translocación del metal y su acumulación⁽¹⁰⁾.

A su vez, la fitorremediación incluyen técnicas como la fitoextracción, que es el uso de plantas acumuladoras de elementos tóxicos o compuestos orgánicos para retirarlos del agua, suelo o sedimento mediante su absorción y concentración en las partes cosechadas. La fitoestabilización, es el uso de plantas para reducir la biodisponibilidad de los contaminantes en el entorno, mejorando las propiedades físicas y químicas del medio. La fitovolatilización que es el uso de plantas para eliminar los contaminantes del medio mediante su volatilización. La fitodegradación, es el uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes orgánicos. La rizofiltración es el uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua y de otros efluentes acuosos. Obviamente la eficiencia del tratamiento dependerá en gran medida de las especies de plantas que se utilicen^(14,15).

Para tratar un efluente se necesitan plantas que presenten alta eficiencia y alta tolerancia a concentraciones elevadas del contaminante que se quiere eliminar. Se ha propuesto que las plantas pueden ser cosechadas y su tejido, rico en el contaminante acumulado, puede ser procesado para producir energía y los metales pueden ser recuperados de los residuos de las plantas después de un tratamiento ácido⁽¹⁶⁾.

Se han realizado abundantes estudios en laboratorio, invernadero y a campo a fin de determinar las eficiencias de distintas plantas acuáticas, tanto flotantes como arraigadas, en la remoción de contaminantes de agua⁽¹⁷⁾. Stoltz y Greger⁽¹²⁾ estudiaron la capacidad de acumulación de metales (As, Cd, Cu, Pb y Zn) en cuatro macrófitas arraigadas. Deng et al.⁽¹⁷⁾ demostraron la eficiencia de acumulación y tolerancia a diferentes metales (Pb, Zn, Cu y Cd) de 12 especies arraigadas.

Typhadomingensis es una especie de rápido crecimiento y elevada biomasa y, por lo tanto, posee una elevada capacidad competitiva frente a otras especies emergentes. Keddy et al.⁽¹⁸⁾, estudiaron la habilidad competitiva de 20 especies vegetales de humedales naturales. Sus resultados indicaron que las especies con mayor capacidad competitiva fueron las rizomatosas perennes con elevada biomasa individual debido a su gran capacidad para almacenar nutrientes. Por esta razón, las especies de *Typhas* son mundialmente estudiadas a escala de laboratorio, invernadero y en humedales construidos para el tratamiento de diversos efluentes⁽²⁰⁾.

Typha es un género de la familia Typhaceae de amplia distribución en regiones templadas y tropicales, pudiendo ser considerada sub-cosmopolita⁽²⁰⁾. En nuestro país, conocida también como totora, o piripé en la lengua Guaraní, es característica de ecosistemas como los humedales de agua dulce y salobre, formando densos rodales mono-específicos. En

Paraguay se han descripto dos especies (*T. domingensis* y *T. latifolia*), distribuidas tanto en la región Oriental como en la Occidental (Chaco)⁽²¹⁾, en suelos pantanosos formando colonias muy densas llamadas totorales.

Con la finalidad de desarrollar un sistema de fitorremediación de aguas contaminadas con metales pesados se evaluó la absorción de dos metales: cromo (Cr) y cobre (Cu) por plantas de *Typhadomingensis* en condiciones controladas.

2. METODOLOGÍA

2.1. Localización

Los experimentos fueron desarrollados en los Laboratorios de Biotecnología y de Calidad de Aguas del Centro Multidisciplinario de Investigaciones Tecnológicas (CEMIT) de la Universidad Nacional de Asunción (UNA), San Lorenzo, Paraguay.

2.2. Material vegetal

Las plantas de *Typha domingensis* estudiadas y utilizadas fueron proporcionadas por el Laboratorio de Biotecnología (CEMIT/UNA). Previamente fueron multiplicadas según protocolo de propagación de Samudio et al.⁽²²⁾, germinadas a partir de semillas y aclimatadas en invernadero, dichas plantas fueron dispuestas en un sistema de flotación para un crecimiento adecuado hasta su utilización.

Ejemplares de herbario fueron depositados en el Herbario de la Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Asunción, bajo el código de identificación: O. Aquino y A. Samudio 171 (FCQ).

2.3. Diseño experimental

La unidad experimental estuvo conformada de diez plantas de *Typha dominguensis* en un sistema flotante dispuestas en un contenedor de plástico de 63 litros de capacidad. Los tratamientos consistieron en diferentes disoluciones metálicas: en el caso del cromo, dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) en tres concentraciones; y en el caso del cobre, sulfato de cobre II ($CuSO_4$) en tres concentraciones.

T₁: Disolución metálica de Cr 0,72 mg/l -	concentración baja
T₂: Disolución metálica de Cr 2,65 mg/l -	concentración media
T₃: Disolución metálica de Cr 5,5 mg/l -	concentración alta
T₄: Disolución metálica de Cu 1,13 mg/l -	concentración baja
T₅: Disolución metálica de Cu 5,22 mg/l -	concentración media
T₆: Disolución metálica de Cu 11,25 mg/l -	concentración alta

Samudio Oggero A, Nakayama HD, Ávalos CR, Cantero Garcia I, Benítez JV, Ayala J, Elkhilili R, Peralta I. Eficiencia de la absorción de cobre (Cu) y cromo (Cr), una propuesta de fitorremediación de efluentes mediada por *Typha domingensis*

T₇: Control 1 (sin agregado de disolución metálica)

T₈: Control 2 (agregado de metal, sin plantas)

Cada tratamiento fue realizado en tres repeticiones y fueron dispuestas en el invernadero en condiciones ambientales. Se realizaron los análisis en 3 oportunidades, los días 1, 17 y 45 días, totalizando de esta manera tres tomas de muestras.

Los parámetros analizados incluyeron el potencial hidrogeno (pH), oxígeno disponible (OD), conductividad (Cond.), temperatura (T^o) y la concentración de metales (Cu y Cr) por el método de absorción atómica.

Para el análisis estadístico, fue utilizado el análisis de varianza (ANOVA) en el sistema de análisis estadístico InfoStat®. La significancia de las diferencias entre los valores medios se determinó mediante el test de Tukey con un nivel de confianza del 95%.

2.4. Análisis de metales

El equipo utilizado para el análisis fue el espectrómetro de absorción atómica Shimadzu AA-7000 (SHIMADZU CORPORATIO, Tokyo, Japón) con llama aire-acetileno, con corrector de fondo de fuente continua que utiliza lámpara de deuterio. La longitud de onda de lámpara de cátodo hueco del Cr fue de 357,9 nm y la del Cu fue de 324,8 nm.

La solución estándar utilizada para las curvas de calibración fue la Solución IV multielemento (Merck, Alemania) de 1000 mg.L⁻¹, diluido en ácido nítrico. A partir de esta, se realizaron diluciones-de concentraciones adecuadas para la curva de calibración, de acuerdo al elemento y las concentraciones de las muestras a ser leídas.

De cada réplica se tomaron muestras por triplicado a las cuales se le realizaron una digestión ácida para eliminar la materia orgánica para su posterior análisis por absorción atómica.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Absorción de cromo

En la Tabla 1 se puede observar los valores de los promedios en la concentración de Cr en los distintos muestreos (baja, media, alta). En la concentración más baja (0,72 mg/L), se observó una disminución del 16,6% mostrando una diferencia significativa entre los días 1 y 45. En la concentración media (2,65 mg/L) se obtuvo una disminución del 25,5%

observándose diferencias significativas en los tres muestreos. En la concentración más alta (5,5 mg/L) la absorción fue mayor, registrándose una reducción del 46,36% de la concentración de Cr.

Si bien las plantas, al principio del ensayo mostraron mayor estrés según el aumento de la concentración de metales, en los días posteriores emitieron nuevos rizomas adaptándose a esta nueva condición (aumento de la concentración de Cr), teniendo mayor eficiencia en la remoción (46,36%) como se puede observar en la Tabla 1. Mufarrege et al.⁽²⁰⁾. en un estudio que realizaron sobre la absorción de diversos metales (Cr, Ni y Zn) por plantas de *T. domingensis* durante 90 días, la concentración de metales en agua disminuyó hasta alcanzar porcentajes finales de remoción de 99,9%, 99,04% y 99,5% de Cr, Ni y Zn, respectivamente. Maine et al.⁽²²⁾ estudiando otras especies de plantas macrófitas flotantes, *P. stratiotes* y *S. herzogii*, con eficiencias de 98-99% de absorción después de 30 días iniciado el experimento utilizando concentraciones de 1, 2, 4 y 6 mg/L de Cr.

Tabla 1. Medias de los valores de concentración de cromo en las sucesivas mediciones

Muestreo	Concentración de cromo (Cr) mg/L		
	Baja (0,72 mg/L)	Media (2,65 mg/L)	Alta (5,5 mg/L)
1 día	0,72A*	2,65A**	5,50A*
17 días	0,69AB*	2,17B**	4,93A*
45 días	0,60 B*	1,92B**	2,95 B*
Remoción	0,12mg/L - 16,6%	0,75 mg/L - 25,5%	2,55mg/L - 46,36%
CV	6%	3,33%	5,43%

Test de Tukey: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí, medias seguidas por letras diferentes difieren entre sí. * En el nivel de significancia del 5%.

** En el nivel de significancia del 1% C.V.: Coeficiente de Variación.

Estos resultados sugieren que la eficiencia en la absorción de cromo es proporcional a la concentración. En la Figura 1, se observa la disminución del contenido cromo en las sucesivas tomas de muestras, se puede observar que la disminución en la concentración más alta es mucho mayor que la concentración media y la baja.

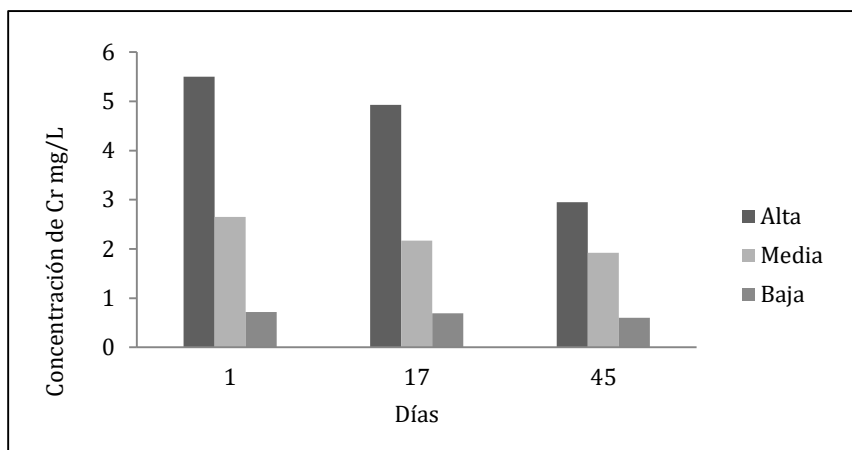


Figura 1. Adsorción de cromo en diferentes concentraciones de soluciones en tres momentos de muestreo.

3.2. Absorción de cobre

En la Tabla 2 se observan resultados similares a los obtenidos con el Cr. En la concentración más baja (1,13 mg/L), se observó una disminución del 68% de Cu, obteniéndose una diferencia significativa entre los días 1 y 45. En la concentración media (5,22 mg/L) se obtuvo una disminución del 93,1% observándose diferencias significativas. En la concentración más alta (11,25 mg/L) la absorción fue del 83,46% de la concentración de Cu.

Torres et al.⁽²³⁾ demostró con su estudio sobre *Pistiastratioides* (lechuga de agua), que es una planta con alto potencial para la eliminación de iones cobre de soluciones acuosas a concentraciones de hasta 1mg/l a pH 5. La planta es capaz de absorber hasta un 70% del cobre disuelto, el cual es alcanzado luego de 6 horas de estar en contacto con la solución, en el mismo estudio concluye que las plantas si bien absorben los iones metálicos, sobreviven sólo por 48 hs. En el presente estudio se utilizaron dosis superiores, llegando a los 11,25 mg/L, si bien a esta dosis las plantas se vieron afectadas, ellas sobrevivieron, emitieron nuevos estolones que se desarrollaron normalmente y al cabo de 45 días produjeron una remoción del 83,46%.

Tabla 2. Medias de los valores de concentración de cobre en las sucesivas mediciones

Muestreo	Concentración de cobre (Cu) mg/L		
	Baja (1,13 mg/L)	Media (5,22 mg/L)	Alta (11,25 mg/L)
1 día	1,13A**	5,22A**	11,25A**
17 días	0,41B**	0,47B**	2,6B**
45 días	0,36B**	0,37B**	1,86B**
Remoción	4,86 mg/L - 68%	0,73 mg/L - 93,1%	9,74 mg/L - 83,46%
CV	7,32%	20,73%	18,27%

Test de Tukey: Medias seguidas por la misma letra no difieren entre sí, medias seguidas por letras diferentes difieren entre sí. * En el nivel de significancia del 5%. ** En el nivel de significancia del 1%. C.V.: Coeficiente de variación.

Al igual que con la absorción de Cr, el Cu también la absorción fue proporcional a la concentración. En la Figura 2, se observa la disminución del contenido Cu en las sucesivas tomas de muestras, se puede observar que la disminución en la concentración más alta (11,25 mg/L) fue superior a la tasa de disminución de la concentración más baja (4,86 mg/L).

También se determinaron los parámetros fisicoquímicos para evaluar las condiciones en que se encontraban las plantas, ya que estos parámetros son determinantes en la eficiencia de los sistemas de tratamiento biológico⁽²⁴⁾. Para ambos tratamientos Cr y Cu en el primer, segundo y tercer muestreo, los valores de estos parámetros se observan en la Tabla 3. Para que sobrevivan todas las células vegetales, las diferentes soluciones deben mantener un pH cercano al neutro. En el presente estudio el pH de las diferentes soluciones en las diferentes tomas de muestras estuvieron entre un mínimo de 4,71 a 7,53.

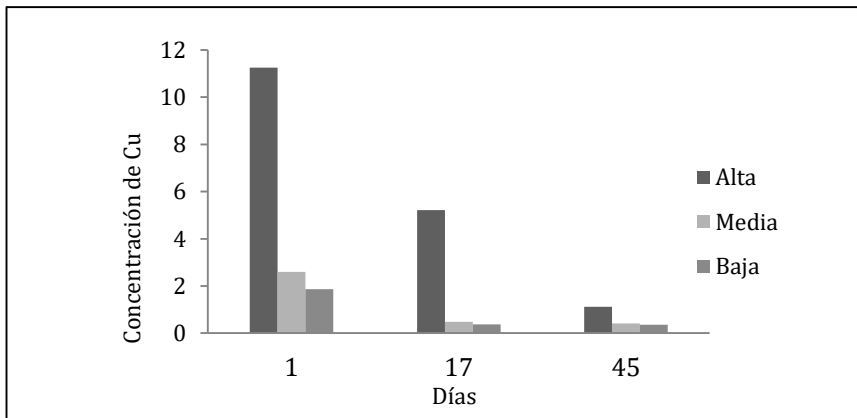


Figura 2. Adsorción de Cobre en diferentes concentraciones de soluciones en tres momentos de muestreo.

En el presente estudio se comprobó la eficiencia de la planta palustre *T. dominguensis* para la remoción de los metales pesados Cr y Cu, en sistemas de flotación de plantas en soluciones metálicas a diferentes concentraciones, obteniéndose porcentajes de remoción del 16% al 46% en el caso del Cr y del 68 al 93% en el caso del Cu. En todos los casos, la absorción fue mayor a medida que aumentaba la concentración de la solución metálica.

Tabla 3. Valores de diferentes parámetros físico químicos en las diferentes tomas de muestras

Parámetros analizados									
Día 1									
	Concentración baja			Concentración media			Concentración alta		
Repetición	1	2	3	1	2	3	1	2	3
pH	7,53	7,41	7,35	7,53	7,52	7,29	7,29	7,52	7,51
Cond.	303	200	302	289	295	244	380	387	290
O.D.mgO ₂ /L	8,55	12,73	11,15	10,57	11,06	11,36	9,49	8,70	290
Tº (ºC)	25,9	26,5	28,1	26,2	26,1	28	26,7	26,6	28,8
Día 17									
pH	5,88	6,1	5,86	7,13	7,22	7,11	6,93	6,96	7,13
Cond.	391	270	382	384	393	312	463	464	396
O.D. mgO ₂ /L	2,70	1,97	2,03	5,23	4,94	5,10	4,92	5,43	5,31
Tº (ºC)	24,6	26,1	25,1	24,6	23,9	25,4	25,1	24,6	24,5
Día 45									
pH	4,71	5,05	6,72	6,89	6,97	7,04	7,23	7,33	7,24
Cond.	482	345	464	471	480	389	559	572	486
O.D. mgO ₂ /L	4,06	3,18	425	4,09	466	5,12	5,13	5,55	5,3
Tº (ºC)	28	28,5	28	28,1	28,4	27,8	27,8	28	28

Las plantas de *Typha* removieron los metales estudiados en los experimentos, los resultados sugieren que la eficiencia de la remoción está dada por el metal, y la concentración metálica en las soluciones. El periodo de aclimatación de las plantas puede ser clave para la eficiencia del sistema. Cabe destacar que las plantas utilizadas en el ensayo, fueron obtenidas a partir de semillas colectadas, posteriormente sembradas en bandejas para su utilización. Las semillas tuvieron un alto poder de germinación, se obtuvieron plantas con buen desarrollo.

PARTICIPACIÓN DE AUTORES

ASO: Metodología, ensayos generales, evaluaciones generales, revisión de resultados, análisis de datos, redacción, corrección; HDN: Revisión de protocolos, revisión de diseño experimental, redacción; CA: Evaluaciones, protocolo de cuantificación de metales, ensayos generales de laboratorio; JVB: multiplicación de plantas, aclimatación, evaluaciones; ICG: multiplicación de plantas, aclimatación, evaluaciones; JA: redacción, traducción, Análisis en laboratorio; RE: redacción, traducción, muestreo, análisis en laboratorio; IP: Revisor de protocolos, redacción y diseño del experimento.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses con respecto al presente artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Glick BR. Phytoremediation: synergistic use of plants and bacteria to clean up the environment. *Biotechnol.* 2003;(21):383-93.
2. Romero K. Contaminación por metales pesados. *Rev Cient Cienc Méd [Internet]*. 2009 [citado 2021 oct 18];12(1):45-46. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1817-74332009000100013&lng=es
3. Lucho CA, Prieto F, Del Razo LM, Rodríguez R, Poggi H. Chemical fractionation of boron and heavy metals in soils irrigated with wastewater in central Mexico. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 2005;108:57-71.
4. Abollino O, Aceto M, Malandrino M, Mentastè E, Sarzanini C, Barberis R. Distribution and Mobility of Metals in Contaminated Sites. *Chemometric Investigation of Pollutant Profiles. Environmental Pollution.* 2002;119:177.

5. Angelova V, Ivanova R, Delibaltova V, Andivanov K. Bio-accumulation and distribution of heavy metals in fibrecrops (flax, cotton and hemp). *Industrial Crops and Products*. 2004;19:197-205.
6. Arthur EL, Rice PJ, Anderson TA, Baladi SM, Henderson KLD, Coats JR. Phytoremediation - Anoverview. *CritRevPlantSci*. 2005;24:109-122.
7. Glazer AN, Nikaido Y. *Microbial Biotechnology: Fundamentals of Applied Microbiology* (2nd ed.). New York: W. H. Freeman and Company,1999.
8. Atlas RM, Unterman Y. *Bioremediation. Manual of Industrial Microbiology and Biotechnology* (2nd ed.). Washington D.C.: ASM Press; 1999.
9. Robinson B, Schulin R, Nowack B, Roulier S, Menon M, Clothier B, Green S, Mills T. Phytoremediationforthemangementof metal fluxncontaminatedsite. *SnowLandsc*. 2006;80:221-234.
10. Melcer R, Post L. Merging genes louldcreateplantsthatcleancontaminatedground. *Fromgreentoclean*; 2004.
11. Le Duc D, Terry N. Phytoremediation of toxic trace elements in soil and water. *Journallnd. Microbiol. Biotechnol*. 2005;32:514-520.
12. Stoltz EY, Greger M. Accumulationproperties of As, Cd, Cu, Pb and Zn byfourwetlandplantspeciesgrowingonsubmerged mine tailings. *Environ. Exp. Bot*. 2002;47:271-280.
13. Reddy S. Agroclimaticclasification of semiaridtropics. II Identification of clasificatory variables. *Agric. Meteorol*. 1983;30:201-219.
14. Gersberg RM, Elkins BV, Lyon SR, Goldman CR. Role of aquaticplants in wastewatertreatmentby artificial wetlands. *Wat. Res*. 1986;20:363-368.
15. Dushenkov VP, Nanda Kumar BA, Motto HY, Raskin Y. Rhizofiltration: The use of Plantstoremove Heavy MetalsfromAqueousStreams. *Environ. Sci. Technol*. 1995;29:1239-1245.
16. Hadad HR, Maine MA, Mufarrege MM, Del Sastre MV, Di Luca GA. Bioaccumulationkinetics and toxiceffectsofCr, Ni and Zn on Eichhorniacrassipes. *J. Haz. Mat*. 2011;190:1016-1022.
17. Deng H, Yea ZH, Wong YMH. Accumulation of lead, zinc, copper and cadmiumby 12 wetlandplantspeciesthriving in metal-contaminatedsites in China. *Environ. Poll*. 2004;132:29-40.
18. Keddy PA, Twolan-Strutt L, Wisheu IC. Competitiveeffectand response rankings in 20 wetlandplants: are theyconsistentacrossthreenvironments. *J. Ecol*. 1994;82:635-643.
19. Stevens PF. «Typhaceae» (en inglés). *AngiospermPhylogenyWebsite*. 2008 [citado 30 de ene del 2019].
20. Mufarrege M, Hadad H, Maine M. Response of Pistiastratiotes to heavy metals (Cr, Ni, and Zn) and phosphorous. 2010. *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 58:53-61.

21. Degen R, Mereles F. Typhaceae. Fl. Paraguay. Edit. R. Spichiger & L. Ramella. 1999;28:14.
22. Samudio A, Nakayama H, Peralta I, Cardozo C. calidad fisiologica de semillas de *Typha Domingensis* Pers. (Totora) y su propagación en condiciones controladas. Revista Rojasiana. 2014;13(53):62.
23. Maine MA, Suñe N, Panigatti MC, Sánchez M, Hadad H. Wetland piloto para tratamiento de un efluente metalúrgico. Ingeniería Sanitaria y Ambiental. 2001;64:72-77.
24. Torres G, Navarro A, Languasco J, Campos K, Cuizano N. Estudio preliminar de la fitoremediación de cobre divalente Mediante *Pistiastratioides* (lechuga de agua). Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. 2007;3(1):13-20. Consultado el 5 de octubre del 2019. En línea: <http://www.itson.mx/publicaciones/rlrn/Documents/v3-n1-2-estudio-preliminar-de-la-fitoremediacion-de-cobre.pdf>
25. Coleman J, Hench K, Garbutt K, Sexstone A, Bissonnette G, Skousen J. Treatment of domestic wastewater by three plant species in constructed wetland. Water, Air and Soil Pollution. 2001;128(3-4):283-295.