

INFLUENCIA DE *Typha angustifolia* Y *Eichhornia crassipes* EN LA ADSORCIÓN DEL CADMIO TOTAL PRESENTE EN AGUA EN CONDICIONES DE LABORATORIO

Typha angustifolia INFLUENCE AND *Eichhornia crassipes* IN THE ADSORPTION OF TOTAL CADMIUM PRESENT IN WATER UNDER LABORATORY CONDITIONS

Hermila Díaz Pillasca¹, Francisco Castillo More¹, Desiderio Cotos Duran¹, Eduardo Benites Requena¹

RESUMEN

Las aguas, tanto continentales como marinas, son contaminadas de diversas maneras. Entre los contaminantes que se vierten a los cuerpos de agua se encuentran los metales pesados. Estudios recientes demuestran las repercusiones negativas de los metales pesados como el cadmio en la situación del ecosistema e incluso, de daños directos en el hombre. Para resolver problemas de contaminación del agua por metales pesados existen diversas opciones, entre ellos la biorremediación y la fitorremediación. La fitorremediación, utiliza plantas para limpiar ambientes contaminados, por la capacidad de ciertas especies de adsorber, acumular y/o tolerar altas concentraciones de metales pesados. En el presente trabajo, se emplearon las plantas acuáticas *Typha angustifolia* y *Eichhornia crassipes*, por separado y juntas, para determinar, en función al tiempo de exposición, su capacidad de adsorción del cadmio presente en una solución en condiciones de laboratorio. Se evaluaron 60 unidades experimentales. Para el análisis estadístico de los datos se empleó el análisis de varianza y regresión. *E. crassipes*, en 25 días fue capaz de remover en promedio el 88,12% de cadmio, seguida por *Typha angustifolia* con 79,64%. Sin embargo, *T. angustifolia* y *E. crassipes* juntas fueron capaces de remover en 25 días el 91,88% de cadmio.

Palabras claves: Biorremediación, Fitorremediación, Metales pesados.

ABSTRAC

The waters, both inland and marine, are contaminated in various ways. Among the pollutants discharged to water bodies are heavy metals. Recent studies show the negative impact of heavy metals such as cadmium in the state of the ecosystem and even direct damage in man. To solve problems of water contamination by heavy metals there are several options, including bioremediation and phytoremediation. Phytoremediation uses plants to clean polluted environments, the ability of certain species to adsorb, accumulate and / or tolerate high metal concentrations. In this paper, we used aquatic plants *Eichhornia crassipes* and *Typha angustifolia*, separately and together to determine, according to the exposure time, the adsorption capacity of cadmium in a solution in laboratory conditions. 60 experimental units were evaluated. For statistical analysis of the data was used analysis of variance and regression. *E. crassipes*, in 25 days he was able to remove an average of 88.12% of cadmium, followed by *T. angustifolia* with 79.64%. However, *T. angustifolia* and *E. crassipes* together were able to remove in 25 days 91.88% cadmium.

Keywords: Bioremediation, Phytoremediation, Heavy metals.

¹ Facultad de Ciencias. Email: hdiaz@unjfsc.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La actividad minera en el Perú ha venido contaminando los ambientes acuáticos de la sierra y por ende los ríos que llegan hasta la costa, con repercusiones negativas en diversas redes tróficas, siendo afectadas la flora y fauna de esos ecosistemas por efecto de contaminación con aguas residuales, incluyendo los metales pesados; provenientes de los relaves mineros.

En el Perú se han realizado pocos estudios de toxicidad con metales usando especies vegetales. Hay estudios del efecto del cromo (Alayo, 1999) y del cadmio (Tam, 2001) en la diatomea *Skeletonema costatum*. Otros organismos han sido usados en pruebas ecotoxicológicas con metales, por ejemplo, el cobre con *Argopecten purpuratus* (Sánchez, 1988) y metales hídricos, usando al camarón juvenil *Cryphiops caementarius* (Bustamante, 1978).

El presente trabajo se justifica plenamente por que la remediación con plantas terrestres o acuáticas, es una técnica limpia y de bajo costo, en comparación con otras técnicas para remediar aguas contaminadas con metales pesados por actividades agroindustriales y mineras.

La hipótesis planteada fue que a mayor tiempo de exposición de la combinación de *T. angustifolia* y *E. crassipes*, se obtendrá una disminución porcentual de cadmio total en el agua, en condiciones de laboratorio.

El objetivo general fue probar que la combinación de *T. angustifolia* y *E. crassipes* y el tiempo de exposición, influyen en la adsorción del cadmio total presente en una solución, en condiciones de laboratorio. La contribución del presente trabajo es el método empleado para lograr minimizar el cadmio total de las aguas contaminadas, como una alternativa de solución a la problemática existente.

MATERIAL Y MÉTODOS

La unidad de análisis fue de 100 mL de solución de agua natural cadmio. Se aplicó un Diseño de Tipo Bifactorial 4 x 5 y 3 repeticiones, las que dieron 60 pruebas, teniendo en cuenta la distribución de los vegetales y el tiempo de exposición para las variables respuestas: ppm y % de adsorción de cadmio total. Las pruebas se acondicionaron a una matriz de Contrastación Factorial indicadas en la tabla 1 y 2.

Tabla 1. Niveles de las variables de estudio.

Variables Independientes de Estudio	Niveles de Estudio (Combinación de especies)
Factor A: Especies de <i>Typha angustifolia</i> (T) y <i>Eichornia crassipes</i> (E)	4 niveles: A ₁ = 0 especies; A ₂ = Especie T; A ₃ = Especie E; A ₄ = Especies T y E.
Factor B: Tiempo de Exposición (cada 5 días)	B ₁ = 5; B ₂ = 10; B ₃ = 15; B ₄ = 20; B ₅ = 25días
Variable Dependiente de Estudio	Niveles de Estudio
Adsorción de cadmio	Partes por millón (ppm) y % (porcentaje)

Tabla 2. Diseño de la matriz experimental.

		FACTORES A				
		Niveles	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄
FACTORES B	B ₁		A ₁ B ₁	A ₂ B ₁	A ₃ B ₁	A ₄ B ₁
	B ₂		A ₁ B ₂	A ₂ B ₂	A ₃ B ₂	A ₄ B ₂
	B ₃		A ₁ B ₃	A ₂ B ₃	A ₃ B ₃	A ₄ B ₃
	B ₄		A ₁ B ₄	A ₂ B ₄	A ₃ B ₄	A ₄ B ₄
	B ₅		A ₁ B ₅	A ₂ B ₅	A ₃ B ₅	A ₅ B ₅

Número Total de Pruebas = (Número de Matriz) X (Número de Réplicas) = (4x5)x(3) = 60

Equipo experimental: Se utilizó un sistema de columna estática. En la parte superior se colocó un recipiente con la solución de cadmio a ser evaluada; con una manguera se conectó con un depósito de vidrio donde se colocaron los vegetales en estudio, unas separadas y otras juntas. Este equipo se llamó biorreactor; la solución tuvo una recirculación constante con una bomba de 0,5 HP, hasta completar el tiempo experimental de bio-acumulación.

Procedimiento

- a. **Recolección de la muestra:** La *T. angustifolia* se recolectó en las albuferas de Medio Mundo, la *E. crassipes* fue obtenida en la laguna artificial de Ingeniería Pesquera de la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión de Huacho. Ambas fueron llevadas en baldes de plástico rotulados.
- b. **Bioacumulación:** Se cargaron los depósitos de vidrio con los vegetales en estudio, el flujo de solución de cadmio fue continuo. Se cuantificó los residuos de cadmio, según el tiempo establecido, en la solución de cadmio recirculante en el biorreactor, para determinar los niveles de adsorción de cadmio por los vegetales en experimentación.

Análisis de datos

Los resultados se analizaron empleando herramientas descriptivas, análisis de varianza bifactorial, regresión y test de proporciones.

RESULTADOS

Al término de los 25 días, ha sido removido el 91,81% de cadmio, por la combinación de *T. angustifolia* y *E. crassipes*. Le sigue en eficiencia *E. crassipes*, con 88,12% de cadmio removido, a continuación *T. angustifolia* con el 79,64% y por último el tratamiento control donde se detectó 0,21% de cadmio removido.

Los valores de cadmio residual fueron analizados a través de estadística descriptiva de medidas de dispersión. El tratamiento con *T. angustifolia* y *E. crassipes*, redujo de 22,5 ppm de cadmio al inicio del experimento, a 1,842 ppm de cadmio (91,81% de adsorción) a los 25 días de evaluación, siendo los valores residuales de cadmio ligeramente más altos en los demás tratamientos.

En función del tiempo de adsorción, a los 5 días de iniciada la investigación, de 22,5 ppm de cadmio inicial, sólo queda por remover en promedio 10,92 ppm, valor que va disminuyendo hasta llegar a 6,3 ppm a los 25 días. Con excepción del tratamiento control, las medidas de dispersión señalan una acentuada heterogeneidad de los datos, de allí que los valores del coeficiente de variación, sean tan altos sobrepasando incluso el 100% de heterogeneidad.

El efecto de los tratamientos (*T. angustifolia* y *E. crassipes*) y el tiempo de exposición a la solución de cadmio, se evalúa mediante el análisis de varianza bifactorial con repetición. Al observar los valores de la "F" calculada (F_c), se infiere estadísticamente, que existen diferencias altamente significativas entre tratamiento y tiempo de adsorción; así como el efecto de interacción de ambos factores. Es decir por lo menos un tratamiento difiere de los demás; así como un nivel del factor tiempo de adsorción es diferente a los demás niveles.

Tabla 3. Valores de cadmio residual por tratamiento (*T. angustifolia* y *E. crassipes*) y tiempo de adsorción en condiciones de Laboratorio, Huacho – 2011.

TIEMPO: FACTOR “B”	TRATAMIENTOS: FACTOR “A ” (Solución madre de cadmio: 22, 5 ppm)										TOTAL Valores acumulados de [Cd] restante en agua	
	A ₁ : Control		A ₂ : Typha		A ₃ : Eichornia		A ₄ :Typha+Eich					
	r _i	Valores de [Cd] restante en agua: Inicial: 22,5 ppm		Valores de [Cd] restante en agua: Inicial: 22,5 ppm		Valores de [Cd] restante en agua: Inicial: 22,5 ppm		Valores de [Cd] restante en agua: Inicial: 22,5 ppm				
		B _i	r _i	Repet	Media	Repet	Media	Repet	Media	Repet	Media	Repet
B ₁ = 5	r1	22,48			8,82		7,7		4,75			
	r2	22,44	22,46		8,8	8,8	7,66	7,7	4,7	4,72	131,04	43,68
	r3	22,46			8,78		7,75		4,72			
B ₂ = 10	r1	22,46			5,5		3		2,26			
	r2	22,46	22,45		5,58	5,56	3,04	3,02	2,32	2,3	100	33,33
	r3	22,44			5,6		3,02		2,32			
B ₃ = 15	r1	22,48			3,94		1,44		1,18			
	r2	22,44	22,46		3,86	3,91	1,46	1,46	1,18	1,18	87	29,01
	r3	22,46			3,9		1,48		1,18			
B ₄ = 20	r1	22,46			2,76		0,8		0,66			
	r2	22,43	22,44		2,68	2,72	0,76	0,73	0,64	0,64	79,74	26,53
	r3	22,44			2,72		0,78		0,63			
B ₅ = 25	r1	22,48			1,95		0,46		0,39			
	r2	22,44	22,45		1,91	1,92	0,46	0,46	0,34	0,37	75,58	25,2
	r3	22,44			1,93		0,46		0,36			
TOTAL		336,8	112,26		68,7	22,91	40,26	13,37	27,6	9,21	473,36	157,75

r = repeticiones

Con el fin de probar la relación del efecto de los tratamientos con los valores de cadmio residual, se aplicó una prueba de regresión entre los niveles de tratamientos y los valores marginales promedio; encontrándose una regresión de tipo polinomial de orden 4, con un valor de coeficiente de determinación ($R^2=1$), es decir una correlación perfecta.

Para medir la relación del efecto del tiempo de adsorción con los valores de cadmio residual, igualmente se aplicó una prueba de regresión entre los niveles de tiempo y los valores marginales promedio; encontrándose una regresión de tipo polinomial de orden 5, con un valor de coeficiente de determinación ($R^2=1$).

Tabla 4. Valores de [Cd] residual y removido en ppm y %; así como valor de t_c (Test de Proporciones) para comparar A₂ Vs A₃, al término de los 25 días del experimento, en condiciones de laboratorio; Huacho – 2011.

Valores de [Cd]	TRATAMIENTOS: FACTOR "A" (Solución madre de cadmio: 22,5 ppm); con 5 repeticiones							
	A ₁ : Control		A ₂ : Typha		A ₃ : Eichornia		A ₄ : Typha+Eich	
Inicial = 112.5 ppm	Residual	Removido	Residual	Removido	Residual	Removido	Residual	Removido
[Cd] ppm	112,26	0,24	22,91	89,59	13,37	99,13	9,21	103,29
% [Cd]	99,79	0,21	20,36	79,64	11,88	88,12	8,19	91,81
Valor de Zc (Test de Proporciones)				$t_c = 1,7374$ (DS);				
				$t_{t(a=5\%)} = 1,645$				

Leyenda: (DS) = Diferencias significativas (nivel de significancia ($\alpha = 5\%$; ∞ gl)).

DISCUSIÓN

En el presente trabajo de investigación, *T. angustifolia* removió el 79,64% de cadmio en 25 días, tiempo mayor al empleando por *T. latifolia* con grava, que removió 76,20% de Cd en 12 días (2); esto indicaría que puede mejorarse la remoción del cadmio utilizando grava como soporte de la planta.

La especie *E. crassipes* "lirio acuático" es considerada como maleza agresiva de difícil erradicación; sin embargo, puede ser una alternativa sustentable para el tratamiento de aguas contaminadas con metales pesados; habiéndose demostrado que el lirio acuático puede remover 0,67 mg de Cd/g biomasa seca /día que representa el 77,5% (Dos Santos & Lenzi, 2002); mientras que en el presente trabajo encontramos para la misma especie un 88,12% de cadmio removido.

En general, se ha demostrado que *E. crassipes* acumula más metales en las raíces que en las hojas y que estos pueden ser transferidos desde las raíces a las partes superiores (tallos y hojas), lo cual está relacionado con el tipo de metal (Dos Santos & Lenzi, 2002). Esto explicaría también la remoción de cadmio tanto por *T. angustifolia* como por *E. crassipes*, conforme aumenta el tiempo, de acuerdo con los resultados obtenidos.

Por otro lado, los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación con las dos especies por separado demostraron que la *E. crassipes* fue más eficiente que la *T. angustifolia* en 8,48 puntos porcentuales para remover el cadmio.

En la presente investigación se ha demostrado que *T. angustifolia* y *E. crassipes* juntas son más eficientes para la remoción del cadmio, lo cual puede deberse a una acción sinérgica.

CONCLUSIONES

T. angustifolia y *E. crassipes* juntas, fueron capaces de remover en 25 días el 91,81% de cadmio. El mayor porcentaje de remoción de cadmio (aproximadamente 60%) ocurre en los primeros 5 días. Los valores de remoción de cadmio al transcurrir el tiempo, van disminuyendo progresivamente, mostrando una gran heterogeneidad.

El Test de Proporciones indica diferencias significativas entre el porcentaje de cadmio removido por *T. angustifolia* y *E. crassipes*, a un nivel de confianza del 95 %.

Existe regresión polinomial del orden 4 para los tratamientos y de orden 5 para el tiempo en relación con la adsorción del cadmio; con una correlación perfecta en ambos casos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alayo, M. y Lannacone, J. (1999, oct). La microalga marina *Skeletonema costatum* como bioensayo alternativo para la evaluación del cromo. VIII Congreso Latinoamericano sobre Ciencias del Mar. Trujillo-Perú.
2. Alonso, A.J. (2005). Acumulación y distribución de cadmio por plantas de *Scirpus americanus* (tule) y *Typhla latifolia* (espadaña) en el Tanque Tenorio. Tesis para obtener el título de QRB. Universidad Autónoma San Luis de Potosi. Mexico.
3. Bustamante, F. (1978). Bioensayos de contaminantes metálicos hídricos y su efecto en el camarón juvenil *Cryphiops caementarius*. Tesis para optar el título en Ing. Pesquera. Univ. Nacional Agraria La Molina, Lima, Perú.
4. Dos Santos M.C. & Lenzi, E. (2002). The use of aquatic macrophytes (*Eichornia crassipes*) as a biological filter in the treatment of lead contaminated effluents, *Environmental Technology*. 21(6): 615-622.
5. Sánchez, G. y Tupayachi, M. (1988). Pruebas preliminares sobre toxicidad microalga *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. Inst. Mar Perú.
6. Tam, J., Vera G., Pinto E. y Melgar, R. (2001). Modelo de simulación de los efectos ecotoxicológicos del cadmio sobre el crecimiento de la micro alga *Skeletonema costatum* (Greville) Cleve. Inf. Prog. Inst. Mar Perú. (130): 3-14.