

Evaluación de remoción de cromo en agua a escala laboratorio empleando *Epipremnum aureum* (Linden & André) G.S. Bunting**Evaluation of chromium removal in water at laboratory scale USING *Epipremnum aureum* (Linden & André) G.S. Bunting**Ana Lorena Velázquez Decoud^{1,*}, Julio César Benítez² & Francisco Paulo Ferreira³¹Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Laboratorio de Calidad de Agua, San Lorenzo, Paraguay.²Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, Departamento de Biotecnología. Campus Universitario, San Lorenzo, Paraguay.³Universidad Nacional de Asunción, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales, departamento de Biología. Campus Universitario. San Lorenzo, Paraguay.*Autor de correspondencia: anavela_decoud@hotmail.com.py.

Resumen: La investigación se llevó a cabo utilizando el método de fitorremediación en escala de laboratorio, empleando la planta de *Epipremnum aureum* (Pothos) y agua de grifo enriquecida con 2 mg.L⁻¹ de cromo, un contaminante inorgánico que amenaza la salud y el medio ambiente. El objetivo de este estudio fue evaluar la capacidad de esta especie para remover dicho contaminante, exponiéndola al agua enriquecida. Se utilizaron unidades experimentales que consistían en envases de vidrio con 500 mL del fortificado, con tres ejemplares de Pothos por envase en triplicado para grupo experimental, y en duplicado para grupo testigo. Estas unidades se mantuvieron durante 13 días en un recinto con luz artificial a una temperatura de 22 ± 2°C y una humedad del ambiente de 50-70%. Se realizaron ensayos para determinar la concentración de cromo total en la solución enriquecida al inicio del experimento (día 1) y en los días 5, 9 y 13, utilizando Espectrofotometría UV-Visible. Se obtuvo en promedio una remoción de cromo de 0.340 mg.L⁻¹ (% R=17.89), y una acumulación de 3.03 mg.kg⁻¹ en su sistema al final del tratamiento. Además, se estimó el tiempo de vida media del cromo, obteniendo un valor de 39.16 días. Se observaron diferencias significativas en los valores de pH, CE y OD en la solución enriquecida. Basándose en los resultados de este estudio, se concluye que la planta de *E.aureum* tiene la capacidad de remover cromo, y se sugiere realizar más investigaciones en diferentes escalas, concentraciones, y metodologías, utilizando estos resultados como antecedente.

Palabras clave: remoción cromo, fitorremediación pothos, *Epipremnum aureum*, biorremediación, metales pesados.

Abstract: The research was carried out using the phytoremediation method at laboratory scale, using the plant *Epipremnum aureum* (Pothos) plant and tap water enriched with 2 mg.L⁻¹ of chromium, an inorganic pollutant that threatens health and the environment. The objective of this study was to evaluate the ability of this species to remove this contaminant by exposing it to the enriched water. Experimental units consisting of glass containers containing 500 mL of enriched water were used, with three Pothos specimens per container in triplicate for the experimental group and in duplicate for the control group. These units were kept for 13 days in an enclosure with artificial light at a temperature of 22 ± 2°C and an ambient humidity of 50-70%. Tests were performed out to determine the concentration of total chromium in the enriched solution at the beginning of the experiment (day 1) and on days 5, 9 and 13, using UV-Visible Spectrophotometry. An average chromium removal of 0.340 mg.L⁻¹ (% R=17.89) was obtained, and an accumulation of 3.03 mg.kg⁻¹ in their system at the end of the treatment. In addition, the half-life time of chromium was estimated to be 39.16 days. Significant differences were observed in pH, EC and DO values in the enriched solution. Based on the results of this study, it is concluded that the *E.aureum* plant has the ability to remove chromium, and it is suggested that further research be conducted at different scales, concentrations, and methodologies, using these results as a background.

Keywords: chromium removal, phytoremediation pothos, *Epipremnum aureum*, bioremediation, heavy metals.



Introducción

La importancia del agua como recurso vital en nuestro planeta se ve comprometida por diversos factores, como el crecimiento poblacional desmedido que aumenta la demanda de agua potable y ejerce presión sobre los recursos hídricos disponibles. Además, las actividades humanas, como la agricultura, la industria y el vertido de desechos, introducen sustancias químicas y contaminantes en los cuerpos de agua, afectando su calidad y la vida acuática(Morales Cornejo & Paucara Huamani, 2021; Vardhan et al., 2019).

La actividad industrial en varios rubros genera la liberación de desechos tóxicos, incluyendo metales pesados como el cromo, que se vierten sin tratamiento en los cuerpos de agua. Esto puede tener consecuencias negativas para la salud humana y el equilibrio de los ecosistemas acuáticos(Baby et al., 2019; Karthik et al., 2016; Medina Garcia et al., 2019; Saha et al., 2011; Vardhan et al., 2019).

El cromo es considerado una sustancia inorgánica con el potencial de causar daños a la salud en concentraciones elevadas. Para eliminar metales pesados como el cromo del agua, se utilizan diversos métodos tradicionales en las plantas de tratamiento de aguas residuales (Baby et al., 2019; Kerur et al., 2021; Quispe Yana et al., 2019; Tumolo et al., 2020).

En nuestro país, se ha observado un aumento significativo en la cantidad de industrias en diversos sectores(Edelira Velázquez et al., 2020). Diariamente se desechan al río Paraguay 2,9 millones de metros cúbicos de aguas residuales sin ser procesadas (OLAS, 2021).

Es fundamental promover prácticas sostenibles en el uso del agua, implementar tecnologías adecuadas y fomentar la conservación de los recursos hídricos. La fitorremediación, que utiliza plantas para tratar y reducir contaminantes en el agua, es una solución efectiva y económica(Delgadillo López et al., 2011; Morales Cornejo & Paucara Huamani, 2021). Entre las especies vegetales utilizadas, se encuentra

la *Epipremnum aureum*, una planta capaz de acumular metales pesados disueltos (Singh et al., 2019).

A pesar de existir estudios científicos acerca de la fitorremediación del cromo en aguas residuales utilizando diversas especies de plantas acuáticas, hasta la fecha es limitada la literatura que aborda específicamente la descromación del agua utilizando la especie de planta *E. aureum*.

Con este trabajo se propuso un modelo en escala de laboratorio acerca de la fitorremediación de cromo fortificado sobre agua de grifo con *Epipremnum aureum* en condiciones controladas.

Materiales y Métodos

Localización y colecta de ejemplares

La recolección de los ejemplares de *E. aureum* para esta investigación se realizó en forma aleatoria a conveniencia de la enredadera del manantial artificial ubicado en las instalaciones de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (UNA), Campus Universitario de San Lorenzo, Departamento Central, Paraguay, cuyas coordenadas precisas son 25°20'08.6"S 57°31'08.6"W (Figs 1 y 2).

El desarrollo experimental se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Calidad de Agua de esta institución. Los ejemplares recolectados fueron lavados minuciosamente con agua de grifo y agua destilada. Luego, se cortaron en segmentos de 40 cm de longitud y se colocaron en frascos de vidrio transparente con una capacidad de 1 litro, que contenían 500 ml de agua de grifo. Estos frascos se dejaron en reposo durante 15 días en condiciones ambientales controladas para permitir su aclimatación (Fig. 3).

Un ejemplar fue trasladado al Laboratorio de Análisis de Recursos Vegetales del Departamento de Biología de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales con el propósito de llevar a cabo su identificación taxonómica.

Diseño Experimental

Para llevar a cabo este experimento siguió el siguiente diseño experimental:



Figuras 1-3. Colecta y aclimatación de las muestras de *Epipremnum aureum*. 1) Ubicación del muestreo, FACEN. 2) Colecta de ejemplares. 3) Adaptación climática, Laboratorio de Calidad de Agua, FACEN.

Caracterización de agua: El agua de grifo utilizada en las pruebas se sometió a un análisis siguiendo los métodos analíticos establecidos en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales (APHA *et al*, 1992). Se evaluaron diversos parámetros, que incluyeron el contenido de cloro residual, pH, la conductividad electrolítica, el oxígeno disuelto, también contenido de cromo total, el nitrato, fósforo total y hierro total.

Curva de calibrado de cromo: Se preparó 7 niveles de concentración (0,01-0,030-0,050-0,100-0,200-0,300 y 0,500) mg/L, calculadas estequiométricamente a partir de 500 mg.L⁻¹ de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$) de calidad MRC (Fig.4). El desarrollo analítico siguió la metodología establecida en los Métodos Normalizados para el Análisis de Aguas Potables y Residuales APHA *et al*, 1992), específicamente de la sección 3500 D.

Ensayo de fitorremediación

Para llevar a cabo el ensayo de fitorremediación, se preparó una solución de agua fortificada con cromo con una concentración de 2 mg.L⁻¹, a partir de una solución de 50 mg.L⁻¹ de dicromato de potasio, diluyendo 20,00 mL de la misma en un matraz aforado de 500 mL con agua de grifo.

A continuación, tres ejemplares de *E. aureum* de 40 cm de longitud, previamente lavados cuidadosamente para eliminar cualquier residuo, secados y pesados, se introdujeron en 5 frascos de vidrio transparente, boca ancha de 1 L de capacidad, con 500 ml de la solución fortificada (grupo experimental) por triplicado y con 500 mL con agua de grifo (grupos testigos) por duplicado, en contacto durante 13 días a condiciones ambientales del laboratorio (Fig.5).

Determinación de Remoción de Cromo en la Solución Fortificada y Tiempo de Vida Media

Los monitoreos de concentración de cromo en el fortificado se realizaron los días 1,5,9 y 13 días, diluyendo 3 mL de cada frasco por triplicado (grupo experimental) llevando a volumen de 50 mL con



Figuras 4-7. Procedimientos laboratoriales. 4) Patrón de Dicromato de potasio, MRC. 5) Montaje del ensayo de fitorremediación, Laboratorio de Calidad de Agua, FACEN. 6) Desarrollo de color de muestras y equipo Espectrofotómetro UV-visible, Laboratorio de Calidad de Agua, FACEN. 7) Tratamiento preliminar de tejido pos fitorremediación. A) Muestra seca a 75°C. B) Pesaje de muestra seca. C) Trituración. D) Resguardo de material triturado. E) Digestión de tejido triturado.

Remoción de cromo en agua a escala laboratorio empleando *Epipremnum aureum*

agua desionizada y para los testigos directamente 50 mL de cada envase, analizados según método estandarizado ya citado anteriormente, empleando el espectrofotómetro UV-visible de la marca Thermoscientific, modelo GENESIS 180 (Fig. 6). Para estas mediciones, se utilizaron cubetas de cuarzo con un recorrido de luz de 1 cm.

Simultáneamente, se determinó otros parámetros como el pH, utilizando un potenciómetro de mesa de la marca Boeco Germany (modelo BT-700), la conductividad electrolítica (CE) con un multiparamétrico de mesa de la marca HANNA (modelo HI2030-01 Edge), y el oxígeno disuelto (OD) con un oxímetro de la marca HANNA (modelo HI98193).

Determinación de Cromo Acumulado en Tejido Vegetal

Al concluir del ensayo de fitorremediación, las plantas fueron lavadas minuciosamente con agua de grifo y destilada, escurridas, pesadas y puestas dentro de bandeja de aluminio, secadas durante 8 días a temperatura ambiente de 33 ± 2 °C Luego, se continuó el proceso de secado a una temperatura de 75 ± 2 °C durante 48 horas en una estufa de secado. Después de enfriar, se pesaron nuevamente utilizando una balanza analítica de la marca Sartorius. A continuación, las muestras fueron trituradas con un mortero y finalmente guardadas en frascos de plásticos con tapa etiquetadas. Seguidamente la muestra fue pesada una cantidad equivalente a 0,500 \pm 0,02 g y puesta en digestión húmeda en erlenmeyer de 250 mL con ácido nítrico y ácido perclórico hasta la aparición de humos blancos (Fig. 7).

Por último, una vez enfriadas las muestras digeridas, se agregaron 40 mL de agua desionizada a cada erlenmeyer y se siguieron los mismos pasos de ensayo para la determinación de cromo total, tal como se describe en (APHA *et al*, 1992) sección 3500 D. Estos pasos comenzaron desde el calentamiento y adición de permanganato de potasio al 4%, hasta completar los pasos

Tabla 1. Resultados de remoción de cromo.

Días de exposición	Día 1	Día 5	Día 9	Día 13
Cromo total grupo testigos (mg Cr.L ⁻¹)	ND	-----	-----	ND
Promedio concentración grupo experimental (mg Cr.L ⁻¹)	1,90	1,80	1,60	1,56
Remoción de cromo total (mg Cr.L ⁻¹)	0	0,100	0,300	0,340
Remoción de cromo total (%)	0	5,26	15,79	17,89

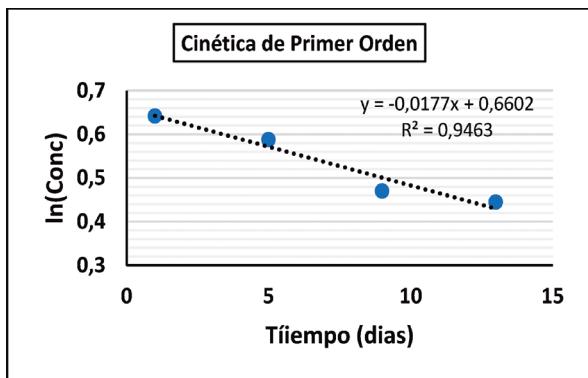
correspondientes del procedimiento analítico y leídas sus respectivas absorbancias mediante el espectrofotómetro UV-visible a 540 nm.

Análisis de resultados

Para la evaluación de los resultados, se calculó el valor promedio de cada grupo utilizando Excel. Posteriormente, se realizó un análisis estadístico para determinar si existían diferencias significativas entre los resultados obtenidos. Para esto, se aplicó la Prueba de "t de Student" con un nivel de significancia establecido en $p < 0,05$.

Resultados y discusión

En base a los resultados obtenidos en la Tabla 1 y Fig. 8, se determinó que la cinética de remoción del cromo fue descrita por un modelo cinético de primer orden, se observó un decaimiento exponencial y gradual de la concentración de cromo, lo cual se ajusta a dicho modelo. La constante de velocidad de decaimiento (k) obtenida fue de 0,018 días⁻¹ y la vida media del cromo ($T_{1/2}$) fue de 39,16 días, esto significa, que aproximadamente 39 días se necesita para

**Figura 8.** Cinética de remoción de cromo.

poder remover el 50 % de cromo en la solución fortificada.

No se detectaron cromo en las testigos durante todo el ensayo. Sin embargo, la concentración de cromo en cada una de las tres muestras experimentales disminuyó gradualmente con el tiempo, desde 1,90 mg/L alcanzando una concentración promedio de 1,56 mg/L al final del ensayo. Además, se observó una tasa de remoción (R) del cromo que aumentó con el tiempo, alcanzando un máximo del 17,89% después de 13 días de exposición.

Para el cálculo del porcentaje de remoción de cromo R (%) en la solución fortificada se aplicó la ecuación utilizada en el trabajo de investigación de Charazińska (2022)(Charazińska et al., 2022), donde:

$$\% R = \frac{C_i - C_f}{C_i} \times 100$$

Donde Ci = promedio concentración cromo total día 1 (mg.L^{-1}) y Cf = promedio concentración cromo total día 13 (mg.L^{-1}).

Relación sobre la variabilidad de concentración de cromo total vs pH, CE y OD durante la fitorremediación

Para saber si existen diferencias significativas entre los valores iniciales de cromo, pH, CE, OD y la media entre los valores al final del ensayo, se realizó la prueba de "t de Student" para un

Tabla 2. Promedio de valores de Cr vs pH, CE y OD en fortificado.

	Días de Exposición			
	1	5	9	13
Cromo grupo testigos (mg.L^{-1})	ND	-----	-----	ND
Cromo grupo experimental (mg.L^{-1})	1,90	1,80	1,60	1,56
pH (UpH)	5,80	6,94	6,96	6,98
CE ($\mu\text{s.cm}^{-1}$)	84,23	89,40	93,57	94,87
OD ($\text{mg O}_2\text{L}^{-1}$)	9,00	8,11	7,76	6,93

nivel de confianza del 95% ($p < 0,05$) utilizando la siguiente ecuación:

$$t = \frac{(xi - \bar{x})}{(S / \sqrt{N})}$$

Dónde t es el valor de la prueba t de Student, xi es el valor inicial de la muestra, \bar{x} es valor de la media de las muestras, s es la desviación estándar de la muestra, N es el número de muestras.

De acuerdo a los valores de la Tabla 2 y Fig.9, se observó una disminución con diferencias significativas en el valor de cromo total desde el primer día hasta el día 13 de exposición al fortificado, lo que indica que la fitorremediación con la planta de *E. aureum* fue efectiva en la disminución de la cantidad de cromo presente

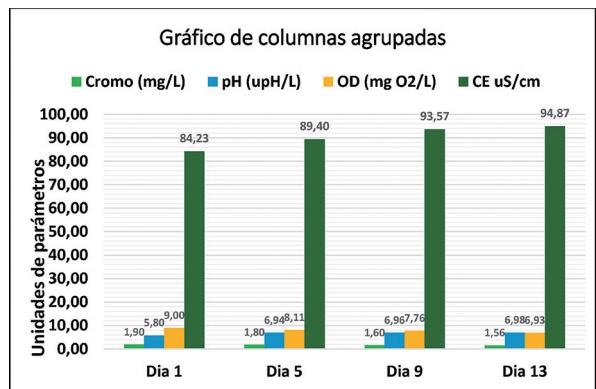
**Figura 9.** Variabilidad de concentración de cromo vs pH, CE y OD en los diferentes tiempos de exposición.

Tabla 3. Resultados del ensayo de cromo en tejido vegetal.

Grupos	B1	B 2	M1	M2	M3
Peso húmedo de plantas juntas (g) día 1	34,460	25,020	39,100	49,200	44,800
Peso seco de plantas juntas a 75 °C (g)	2,2096	1,4404	2,0831	2,3529	2,7510
Promedio Cr en 3 plantas (mg.L ⁻¹)	ND	ND	0,131	0,085	0,063
Promedio de Cr en 3 planta (mg.kg ⁻¹)	ND	ND	12,74	8,45	6,09 2,03
Promedio cromo (mg.kg ⁻¹) /planta	ND	ND	4,25	2,82	
% FBC	0	0	7,00	4,50	3,20
Promedio de Cr total removido /3 plantas	0,340 mg.L⁻¹				
Promedio de Cr total acumulado/ 3 plantas	0,093 mg.L⁻¹				
Promedio de Cr total acumulado /planta	3,03 mg.kg⁻¹				
Promedio de FBC	4,90 %.				

en la solución, esto trajo consigo también un consumo de OD con diferencia significativa, una alcalinización del medio y un aumento de CE, también con diferencias significativas.

Las posibles causas del aumento de pH podrían ser a causa de que los ejemplares habrían absorbido iones de hidrógeno (H⁺) del agua que son ácidos, también podría deberse a la presencia de microorganismos capaces de producir compuestos alcalinos como resultados de su metabolismo, el descenso del contenido de oxígeno disuelto en la solución (Cubillos Vargas, 2011).

Los aumentos de la CE podrían deberse a la liberación de electrolitos en el medio causada por el estrés de la planta o por la interacción de la misma con microrganismos presentes en el medio donde descomponen el cromo u otros contaminantes liberando iones (Tortorelli, 2009).

Los descensos en los niveles de oxígeno disuelto podrían ser atribuidos a factores como la temperatura del medio, que a mayor temperatura disminuye el contenido de oxígeno disuelto, la presencia de microorganismos como algas, hongos que consumen oxígeno disuelto, como así también nuestro ejemplar podría haber absorbido el oxígeno del agua para su metabolismo, proceso de descomposición de material orgánico también disminuye el OD (Cubillos Vargas, 2011;

Tortorelli, 2009).

Cromo bioacumulado en tejido vegetal

De acuerdo a los resultados obtenidos en la Tabla 3, cada planta de pothos tuvo la capacidad de acumular en su sistema en promedio uno 3,03 mg.kg⁻¹ en el caso de grupos experimentales (M1, M2, M3) con un FBC de 0,049 (4,90%) mucho menor a la unidad, nos indica que la *E. aureum* es acumuladora de cromo, pero de respuesta lenta. Sin embargo, no se detectó cromo en los tejidos del grupo testigos (B1 y B2). Para el cálculo del FBC se utilizó la ecuación utilizada por (Kumar Yadav et al., 2018; Zayed et al., 1998).

$$\text{FBC} = \frac{\text{Cromo en planta en mg / L}}{\text{Cromo inicial en solución en mg / L}}$$

Al compara la cantidad de cromo removido por la planta con la cantidad de cromo acumulado en la misma (Fig. 10), encontramos una diferencia en promedio 0,247 mg.L⁻¹. Estas disparidades podrían atribuirse a varios factores, como la precipitación de material vegetal en el fondo de los envases, lo que podría restar miligramos de cromo disponibles para su digestión. Además, la técnica de digestión utilizada para el material vegetal se enfoca en análisis de agua y puede no ser óptima

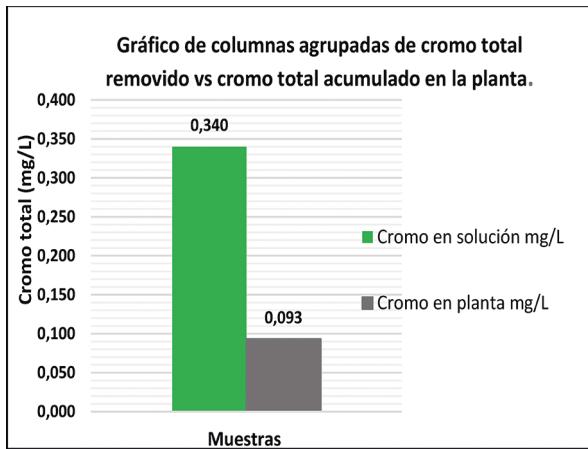


Figura 10.Comparabilidad entre cromo removido vs cromo acumulado.

para el procesamiento de plantas. Durante el proceso de trituración del pothos seco, existe la posibilidad de que se hayan perdido muestras, ya que el material es liviano y puede dispersarse en el aire o adherirse a las paredes del frasco de plástico en el que se almacenaba. Asimismo, al realizar el filtrado de la muestra digerida, es posible que se retuvieran trazas de cromo por el papel de filtro empleado.

Otro factor a considerar es que la planta podría tener componentes morfológicos desconocidos que generen interferencias negativas en la medición del cromo. Estos elementos podrían influir en la acumulación y remoción del cromo de maneras que no se comprenden completamente.

Conclusión

Tras analizar los resultados obtenidos en esta investigación, nos permite concluir que la *E. aureum* tiene capacidad de remover $0,340 \text{ mg.L}^{-1}$ de cromo en 13 días de contacto con la solución fortificada, equivalente a una remoción del 17,89%. Además, cada planta pudo acumular en su sistema $3,03 \text{ mg.kg}^{-1}$ de cromo total. Por otro lado, el tiempo de vida media estimado para el cromo fue de 39 días. Estos resultados nos dan indicios que la especie *E. aureum* tiene capacidad de remoción lenta para el cromo. No obstante, es esencial considerar que estos resultados podrían haber sido influenciados por diversos factores,

como la morfología de la planta, las condiciones ambientales, la metodología utilizada y otros parámetros específicos del experimento. Por lo tanto, se requiere un análisis más detallado y estudios adicionales para comprender completamente el potencial de *E. aureum* en la remoción de cromo y su aplicabilidad en la fitoremediación de metales pesados.

Agradecimientos

Al Laboratorio de Calidad de Agua- FACEN por haberme brindado la oportunidad de utilizar las instalaciones del laboratorio para llevar a cabo el desarrollo experimental y análisis fisicoquímico.

Al Laboratorio de Efluentes -FACEN, por su colaboración en la ejecución de ciertos parámetros fisicoquímicos. A mis Orientadores, colegas y amigos que acompañaron y apoyaron en esta investigación. Sus conocimientos y experiencias compartidas enriquecieron este trabajo. A todos ellos, mi más profundo agradecimiento por su inestimable contribución a este proyecto.

Literatura Citada

- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) & Water Pollution Control Facility (WPCF). (1992). *Métodos normalizados para el análisis de aguas potables y residuales*. (17^a ed.). Madrid: Ediciones Díaz de Santos. 1830 pp.
- Baby, R., Saifullah, B. & Hussein, M.Z. (2019). Palm Kernel Shell as an effective adsorbent for the treatment of heavy metal contaminated water. *Scientific Reports*, 9(1): 18955. <<https://doi.org/10.1038/s41598-019-55396-z>>.
- Charazińska, S., Burszta-Adamiak, E. & Lochyński, P. (2022). The efficiency of removing heavy metal ions from industrial electropolishing wastewater using natural materials. *Scientific Reports*, 12(1): 17766. <<https://doi.org/10.1038/s41598-022-21989-y>>.
- Delgadillo López, A.E., González Ramírez,

- C.A., Prieto García, F., Villagómez Ibarra, J.R. & Acevedo Sandoval, O. (2011). Phytoremediation: an alternative to eliminate pollution. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 14(2): 597–612.
- Edelira Velázquez, M., Gaona Digalo, A.E., Molinas, J. & Zaldivar, A. (2020). Mapeo de industrias del Paraguay registradas en el Ministerio de Industria y Comercio, año 2018. *Scientia Americana, Revista Multidisciplinaria*, 7(2): 57–66.
- Karthik, C., Oves, M., Thangabalu, R., Sharma, R., Santhosh, S.B. & Indra Arulselvi, P. (2016). *Cellulosimicrobium funkei*-like enhances the growth of *Phaseolus vulgaris* by modulating oxidative damage under Chromium(VI) toxicity. *Journal of Advanced Research*, 7(6): 839–850.
- Kerur, S.S., Bandekar, S., Hanagadakar, M.S., Nandi, S.S., Ratnamala, G.M. & Hegde, P.G. (2021). Removal of hexavalent Chromium-Industry treated water and wastewater: A review. *Materials Today: Proceedings*, 42: 1112–1121.
- Kumar Yadav, K., Gupta, N., Kumar, A., Reece, L.M., Singh, N., Rezania, S. & Ahmad Khan, S. (2018). Mechanistic understanding and holistic approach of phytoremediation: A review on application and future prospects. *Ecological Engineering*, 120: 274–298.
- Medina Garcia, L., Ferreira, F.P., Kurita Oyamada, H.G., Rodríguez Bonet, S., Fidel Galeano, E. & Viera, M.R. (2019). Phytoremediation of chrome in tannery effluents using *Eichhornia crassipes*. *Reportes Científicos de la FACEN*, 10(1): 25–36.
- Morales Cornejo, V. & Paucara Huamani, Y.L. (2021). *Fitorremediación con plantas acuáticas en aguas contaminadas con metales pesados: Revisión sistemática*. (Trabajo de grado). Trujillo: Universidad César Vallejos. 97 pp.
- Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento (OLAS). (2021). *Paraguay*. Montevideo: Observatorio para América Latina y el Caribe de Agua y Saneamiento. [Consulted: 1.vii.2025]. <<https://www.olasdata.org/countries/paraguay>>.
- Quispe Yana, R.F., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H.N., Huaquisto Cáceres, S., Calatayud Mendoza, A.P. & Yábar Miranda, P.S. (2019). Concentración de metales pesados: cromo, cadmio y plomo en los sedimentos superficiales en el Río Coata, Perú. *Revista Boliviana de Química*, 36.2(2): 83–90.
- Saha, R., Nandi, R. & Saha, B. (2011). Sources and toxicity of hexavalent chromium. *Journal of Coordination Chemistry*, 64(10): 1782–1806.
- Singh, K.P., Shyam Kumar, A., Paniteja, M. & Singh, S. (2019). Novel properties of *Epipremnum aureum* for treatment of fluoride-contaminated water. *SN Applied Sciences*, 1(7): 741. <<https://doi.org/10.1007/s42452-019-0758-4>>.
- Tumolo, M., Ancona, V., De Paola, D., Losacco, D., Campanale, C., Massarelli, C. & Uricchio, V.F. (2020). Chromium pollution in European water, sources, health risk, and remediation strategies: An overview. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(15): 5438. <<https://doi.org/10.3390/ijerph17155438>>.
- Vardhan, K.H., Kumar, P.S. & Panda, R.C. (2019). A review on heavy metal pollution, toxicity and remedial measures: Current trends and future perspectives. *Journal of Molecular Liquids*, 290: 111197. <<https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.111197>>.
- Zayed, A., Gowthaman, S. & Norman, T. (1998). Phytoaccumulation of trace elements by wetland plants: I. Duckweed. *Journal of Environmental Quality*, 27(3): 715–721.