

# Fitorremediación con macrófitos en agua contaminada por plomo del puerto pesquero de Paita-Perú.

## Phytoremediation with macrophytes in water contaminated by lead from the fishing port of Paita, Peru.

Leslie Crisanto-Gómez<sup>1\*</sup>, Abner Palacios-Vasquez<sup>1</sup>, Cinthya Vilchez-Pingo<sup>1</sup>, Magda Rodriguez-Yupanqui<sup>1</sup>, Magaly De La Cruz-Noriega<sup>2</sup>, Segundo Rojas-Flores<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Escuela de Ingeniera Ambiental, Facultad de Ingeniera, Universidad Cesar Vallejo, Trujillo 13001, Perú, [Lcrisantogo16@ucvvirtual.edu.pe](mailto:Lcrisantogo16@ucvvirtual.edu.pe), [apalaciosvazquez23@ucvvirtual.edu.pe](mailto:apalaciosvazquez23@ucvvirtual.edu.pe), [cvilchezpi9@ucvvirtual.edu.pe](mailto:cvilchezpi9@ucvvirtual.edu.pe), [mrodriguez@ucv.edu.pe](mailto:mrodriguez@ucv.edu.pe)

<sup>2</sup>Vicerrectorado de Investigación, Universidad Autónoma del Perú, Lima 15842, Peru, [mdelacruz@autonoma.edu.pe](mailto:mdelacruz@autonoma.edu.pe), [segundo.rojas.89@gmail.com](mailto:segundo.rojas.89@gmail.com)

**Resumen**—El puerto pesquero de Paita, desde hace varios años presenta contaminación por metales pesados a causa de la industria y del sector pesquero. El objetivo general fue determinar la eficacia de la fitorremediación con macrófitos de agua contaminada por plomo en el puerto pesquero de Paita – Piura. La metodología es aplicada, exploratoria, cuantitativa, experimental y transversal debido a las características de la información utilizada, la planta fitorremediadora utilizada fue *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua). Dentro de los resultados obtenidos se obtuvo: pH de 6,75 en la etapa inicial y 7,73 con la aplicación de macrófitos al 30 %; para el parámetro Conductividad eléctrica, presentó 16,27 uS/cm en la etapa inicial y 28,33 uS/cm post aplicación de macrófitos al 30 %; el parámetro de Oxígeno disuelto, el cual presentó 2,69 (mg/l) en la etapa inicial, luego de la aplicación de los macrófitos al 30 % disminuyó a una cantidad de 2,45 (mg/l); así mismo se midió la Demanda química de oxígeno, siendo en la etapa inicial una concentración de 34,20 (mgO<sub>2</sub>/l), luego de la aplicación de las plantas macrófitas disminuyó a 33,26 (mgO<sub>2</sub>/l); el principal parámetro analizados fue el Pb en mg/L que en la etapa inicial presentó una concentración de > 0,002 y en la etapa final con la aplicación de las plantas macrófitas disminuyó a una concentración de < 0,00143. Concluyendo así que para plomo la eficiencia de la fitorremediación con *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) fue relativamente baja.

**Palabras clave**— Fitorremediación, cuerpos de agua, agua contaminada, metales pesados, contaminación.

**Abstract**—The fishing port of Paita has been contaminated by heavy metals for several years due to the industry and the fishing sector. The general objective was to determine the efficacy of phytoremediation with macrophytes of water contaminated by lead in the fishing port of Paita - Piura. The methodology is applied, exploratory, quantitative, experimental and transversal due to the characteristics of the information used, the phytoremedial plant used was *Eichhornia crassipes* (Water hyacinth). Among the results obtained were: pH of 6.75 in the initial stage and 7.73 with the application of macrophytes at 30%; for the electrical conductivity parameter, it presented 16.27 uS/cm in the initial stage and 28.33 uS/cm after application of macrophytes at 30%; the dissolved oxygen parameter, which presented 2.69 (mg/l) in the initial stage, after the application of the macrophytes at 30% decreased to an amount of 2.45 (mg/l); Likewise, the chemical oxygen demand was measured, being in the initial stage a concentration of 34.20 (mgO<sub>2</sub>/l), after the application of the macrophyte plants it decreased to 33.26 (mgO<sub>2</sub>/l); the main parameter analyzed was Pb in mg/L, which in the initial stage presented a concentration of > 0.002 and in the final stage with the application of macrophyte plants it decreased to a concentration of < 0.00143. Thus concluding that for lead the efficiency of phytoremediation with *Eichhornia crassipes* (Water hyacinth) was relatively low.

**Keywords**— Phytoremediation, bodies of water, contaminated water, heavy metals, contamination.

Digital Object Identifier (DOI):

<http://dx.doi.org/10.18687/LEIRD2022.1.1.96>

ISBN: 978-628-95207-3-6 ISSN: 2414-6390

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es un recurso esencial para el desarrollo de la vida en el planeta Tierra [1]. En los últimos años, los ambientes acuáticos han sido directamente afectados por el vertido de residuos tóxicos debido a actividades humanas, tales como la producción industrial, la exploración geológica, la fertilización agrícola y las actividades mineras, dichas actividades favorecen al crecimiento de la contaminación del recurso hídrico causada por metales pesados [2]. Sin embargo, algunos metales son esenciales para los sistemas biológicos y deben estar presentes dentro de un rango de concentración particular. Es por ello que es importante evaluar los efectos de los metales pesados en la eliminación de antibióticos de los ambientes acuáticos [3].

Debido a los riesgos que plantea la contaminación al medio ambiente por elementos potencialmente tóxicos (PTE), la búsqueda de una remediación rentable y tecnologías sostenibles para eliminar o reducir los contaminantes del medio ambiente es imperativo. Entre los métodos de eliminación actuales, están el bombeo y tratamiento, térmica desorción, extracción de vapor del suelo y estabilización ex situ [4]. Ante esto, la fitorremediación, se ha popularizado por ser una remediación de una amplia gama de contaminantes, específicamente de los metales pesados [5]. Por lo que, es una tecnología rentable y ecológica que utiliza plantas vivas para limpiar el agua, los sedimentos o suelos contaminados [6]. Entre las diversas especies de plantas acuáticas o macrófitas (*Azolla*, *Eichhornia*, *Lemna*, *Potamogeton*, *Spirodela*, *Wolfia* y *Wolfiella*) que han sido reportados como fitorremediadoras y a la vez son altamente eficientes en la reducción de la contaminación acuática a través de la bioacumulación de contaminantes en sus tejidos corporales [5]. Existen subconjuntos distintivos de fitorremediación; los más utilizados y exitosos son la fitoestabilización, rizodegradación, rizofiltración, fitodegradación, fitoextracción, fitoacumulación y fitovolatilización [1]. Es por ello que se utilizó la fitorremediación por rizofiltración con *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) de metales pesados en aguas contaminadas por plomo.

Ali Saber [7], utilizó dos plantas comunes de humedales, hierba de la pampa (*Cortaderia Selloana*) y bambú de la suerte (*Dracaena Sanderiana*); el modelo adimensional de Elovich mostró que alrededor del 80% de la absorción de sulfato se produjo durante el tiempo de contacto de los primeros cuatro días; siendo eficientes para el tratamiento de diferentes niveles de sulfato que se encuentran en corrientes industriales, aguas superficiales o aguas subterráneas contaminadas.

Marines Pires-Lira [8], evaluaron respuestas anatómicas y fisiológicas de *P. aquaticum* (hierba nativa de ambientes alimentados por agua) bajo diferentes concentraciones de plomo; las raíces presentaron una mayor absorción; dado que esta especie posee un mecanismo de rizofiltración, a través de barreras estructurales de la raíz lo cual le permite la acumulación de plomo en los tejidos.

Bin Li [6], realizaron un estudio de caso sobre *Vallisneria natans* (Lour) Hara"; teniendo como resultados la reducción de arsénico, clorofila y aumento de nivel de dimetilsulfato (DMA), lo que sugería resistencia y detoxificación del As. Igualmente, Fernanda Vidal [9], en su publicación de revista titulada "Fitorremediación de ambientes contaminados con arsénico: *Pistia stratiotes* L. es una herramienta útil?", manifiesta que tiene potencial para la fitorremediación de ambientes acuáticos contaminados con concentraciones de Arsénico cercanas a 10  $\mu\text{M}$ .

Marcela Brandao [10], sometieron a pruebas de acumulación a diferentes concentraciones de cobre (0-1000  $\mu\text{M}$ ) y midieron el metal en el medio y en los tejidos de los macrófitos acuáticos *Potamogeton pectinatus* L. (raíces, tallos y hojas) para establecer el factor de bioconcentración, dando como resultado que es una planta adecuada para el seguimiento de ambientes contaminados por cobre.

Así mismo, Perú no es ajeno a las amenazas contaminantes del agua; la región Piura ha sido significativamente afectada. En la provincia de Paita se manifiestan a gran escala las actividades del sector pesquero. En los océanos y estuarios costeros la contaminación del agua es provocada por los derrames de petróleo que son causados por accidentes en los buques petroleros durante el transporte [1]. En el puerto pesquero de Paita, teniendo en cuenta estudios e investigaciones anteriores presenta una contaminación por metales pesados, específicamente el plomo, producido por distintas causas entre ellas está de origen industrial y del sector pesquero.

Debido a ello la investigación tiene como objetivo principal determinar la eficacia del macrófito *Eichhornia Crassipes* (Jacinto de agua) para la eliminación del plomo en el agua del terminal pesquero de Paita. Por ello, se monitoreo los parámetros de plomo, pH, conductividad eléctrica, demanda química de oxígeno y oxígeno disuelto.

En tal sentido, este trabajo de investigación tiene la importancia de buscar una solución óptima para eliminar el plomo del agua del puerto pesquero de Paita, provincia de Piura-Perú.

## II. MATERIALES Y MÉTODOS

### A.-Recolección de agua del terminal pesquero de Paita

Se recolectó 150 ml de muestra de agua en frascos plásticos herméticos del Puerto Pesquero de Paita, ubicada en la ciudad de Piura-Perú. Se rotularon y se trasladaron al laboratorio para sus respectivos análisis.

Se evaluaron los siguientes parámetros: pH, conductividad, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO) y plomo (Pb).

### B.-Acondicionamiento de *Eichhornia Crassipes* (Macrófitos)

*Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua), es una planta fitorremediadora en flotación; fueron expuestos a la luz solar directa para un mejor desarrollo, crecimiento y funcionalidad. En recipientes de 10 L con agua contaminadas del puerto pesquero de Paíta, en los cuales se acondicionó al 10 %; al 20 % y al 30 % de macrófitos, cada tratamiento se realizó por triplicado.

### C.-Monitoreo y tabulación de datos

Se trasladó al laboratorio una muestra de agua por cada recipiente, haciendo un total de nueve muestras finales para realizar un análisis de agua. Para cada muestra se analizaron los siguientes parámetros: pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto (OD), demanda química de oxígeno (DQO) y plomo (Pb).

## III. RESULTADOS Y ANALISIS

Los datos obtenidos por el primer análisis de agua del puerto pesquero de Paíta mediante un laboratorio certificado, son:

TABLA I. Resultados de primer análisis de agua.

ENSAYO	UNIDAD	L.D.M.	RESULTADOS
pH <sup>(c)</sup>	Unidades de pH	Resolución 0,1	6,75
Conductividad <sup>(c)</sup>	mS/cm	Resolución 0,01	16,27
Oxígeno disuelto <sup>(c)</sup>	mg/L	Resolución 0,1	2,69
Turbidez	NTU	Resolución 0,01	1,19
Sulfatos	mg/L	0,004	302,69
Dureza cálcica	mg/L	5,0	900,9
Dureza total	mg/L	5,0	960,0
Cloruros	mg Cl/L	2,0	4 2715,3
Demanda química de oxígeno (**)	mg O <sub>2</sub> /L	2,0	34,20
Demanda bioquímica de oxígeno	mg O <sub>2</sub> /L	0,4	13,68
Sulfuros	mg S <sup>2-</sup> /L	0,008	< 0,0008
Plomo <sup>(a)</sup>	mg/L	0,002	< 0,002

L.D.M.: Límite de detección del método.

(a) Los métodos indicados han sido subcontratados por un laboratorio acreditado.

(c) Medición en Campo.

(\*\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por INACAL-DA.

En la siguiente gráfica se muestran los valores medios y las desviaciones estándar correspondientes al parámetro de pH:

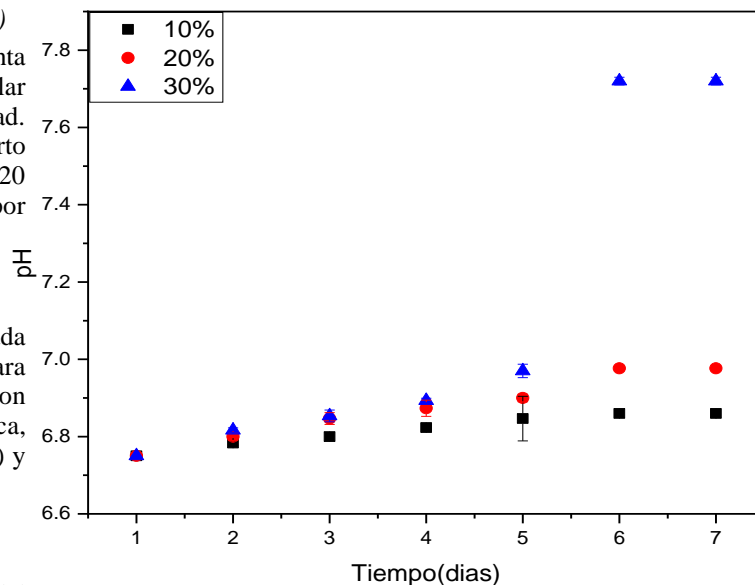


Figura 1. Resultados de pH con respecto a promedio y desviación estándar, graficado con el software Origin.

Como se observa en el gráfico realizamos tres muestras al 10, 20 y 30 % de capacidad, por un tiempo de 7 días; de las cuales se obtuvo los siguientes resultados:

TABLA 2. Resultados del parámetro pH

pH	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
10 %	6,75	6,78	6,80	6,82	6,85	6,86	6,86
20 %	6,75	6,80	6,84	6,87	6,90	6,97	6,98
30 %	6,75	6,82	6,85	6,89	6,97	7,72	7,73

Dichos resultados fueron comparados con los estándares de calidad ambiental (ECA) - ministerio del ambiente (MINAM) para aguas actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras, donde el rango de pH está entre 6,8 y 8,5 [11]. Comparando dichos estándares con el resultado mayor de 7,73, estando dentro de lo establecido. De acuerdo a Del Águila y Saavedra [12] en su investigación mencionan que el pH varía según la planta macrófita utilizada, en este caso a un porcentaje del 10, 15 y 20 % con el macrófita *Eichhornia Crassipes* se calcula un pH de 7,3 y con el macrófita *Pistia Stratiotes* con los mismos porcentajes se obtuvo un pH de 7,93. Por otro lado, Mendoza, et al., [13] mediante su investigación concluyeron que, el análisis estadístico del factor planta tuvo un efecto significativo ( $p < 0,05$ ) para dicho parámetro, teniendo el siguiente comportamiento:  $C > Typhia Dominguisis > Canna Generalis$ ; sin embargo, se observó la diferencia de los tratamientos planteados y el control en cuanto a pH y alcalinidad, el cual se atribuye a diversos procesos físicos y químicos producto de la fitorremediación, en este sentido los resultados de pH se mantuvo dentro de lo establecido. Como se puede observar en la Figura 2 los valores de la

conductividad eléctrica aumentaron desde los primeros días de monitoreo.

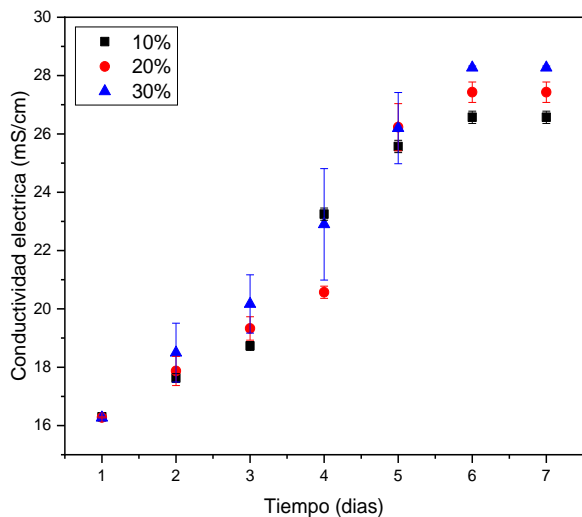


Figura 2. Resultados de conductividad eléctrica con respecto a promedio y desviación estándar, graficado con el software Origin.

Como se logra observar en la Tabla 3, se realizó un muestreo para cada porcentaje, dichos resultados se presentan a continuación:

TABLA 3. Resultados del parámetro conductividad eléctrica

Capacidad ad mS/cm	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
10 %	16,2 7	17,4 0	18,8 3	22,8 0	25,4 7	26,3 0	26,3 0
20 %	16,2 7	17,8 7	19,3 3	20,5 7	26,2 3	27,4 3	27,4 3
30 %	16,2 7	18,5 0	20,1 7	22,9 0	26,2 0	28,2 7	28,3 3

Dichos resultados fueron comparados con los estándares para aguas de mar, la cual señala que el agua de mar debe tener entre 50 y 52 mS/cm [14]. Comparando dichos estándares con nuestros resultados; se puede deducir que se encuentra dentro de los parámetros que corresponde. Como se observa en el gráfico realizamos tres muestras al 10 % de capacidad, al 20 % y al 30 % donde como máximo valor se obtuvo 28,27 mS/cm, estando muy por debajo de lo establecido.

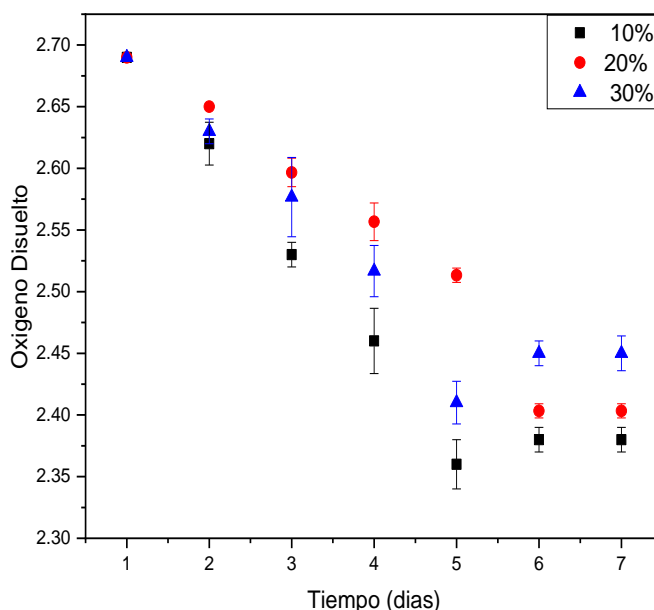


Figura 3. Resultados de oxígeno disuelto con respecto a promedio y desviación estándar, graficado con el software Origin.

Rodríguez Corina [15] señala que la conductividad eléctrica del agua depende de varios factores uno de ellos es la época y la distancia del río, es decir a menor distancia presentó una conductividad de 800 y 900  $\mu$ S/cm; a medida que el río incrementa su distancia la conductividad alcanzó un valor de 1400  $\mu$ S/cm. Por otro lado, Nollí [16] en su investigación manifiesta que la conductividad eléctrica mejora en gran medida debido al plástico que se le coloca, ya que en un inicio la conductividad eléctrica que presentó el agua de mar fue de 51,2 mS/cm y luego del tratamiento fue de 1,00 mS/cm. Así mismo los resultados para el parámetro de oxígeno disuelto (OD) de los valores medios y la desviación estándar son los siguientes:

Como se observa en el gráfico realizamos tres muestras al 10, 20 y 30% de capacidad, de las cuales obtuvimos los siguientes resultados:

TABLA 4. Resultados del parámetro oxígeno disuelto.

Capacidad mg/L	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
10%	2,69	2,62	2,53	2,46	2,36	2,38	2,38
20%	2,69	2,65	2,60	2,56	2,51	2,40	2,40
30%	2,69	2,63	2,58	2,52	2,41	2,45	2,45

Los resultados obtenidos fueron comparados con ECA - MINAM para aguas actividades marino portuarias, industriales o de saneamiento en aguas marino costeras, menciona que la presencia de oxígeno disuelto en un cuerpo de agua de mar tiene un valor mínimo de  $\geq 2,5$

[11]; en referencia a ello las muestras que se tomaron tienen presencia de OD a un máximo de 2,45; estando un 0,05 por debajo de los parámetros que se indica.

Caballero, Yader [17] en su investigación menciona que la variabilidad de OD, depende de las temperaturas y las zonas geográficas, es decir hay una mayor concentración de OD cuando nos encontramos a mayor distancia de la costa, en los lugares de afloramiento son de 1 ml/l a comparación de las zonas donde hay mayor presencia de algas es común encontrar valores de 8,5 ml/l. Por otro lado, Del Águila y Saavedra [12] hacen referencia que la demanda de OD es irremplazable para que sobreviva la materia orgánica oxidada en la muestra de agua, en función de las condiciones oxidantes específicas, el tiempo y la temperatura.

Para el parámetro de demanda química de oxígeno (DQO) de los valores medios y la desviación estándar trazados con el software Origin, son:

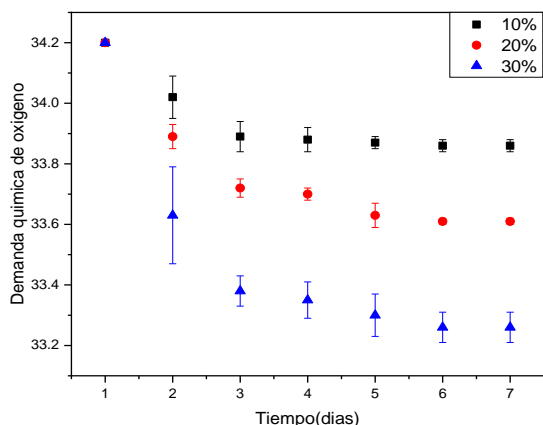


Figura 4. Resultados de demanda química de oxígeno con respecto a promedio y desviación estándar, graficado con el software Origin.

Como se observa en el gráfico realizamos tres muestras al 10 % de capacidad, al 20 % y al 30 % de las cuales obtuvimos los siguientes resultados:

TABLA 5. Resultados del parámetro DQO.

Capacidad mg O <sub>2</sub> /L	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7
10%	34,20	34,02	33,89	33,88	33,87	33,86	33,86
20%	34,20	33,89	33,72	33,70	33,63	33,61	33,61
30%	34,20	33,63	33,38	33,35	33,30	33,26	33,26

Los resultados obtenidos fueron comparados con lo que sustenta Carmenate [18] que establece que valores de DQO superiores a 2,0 mgO<sub>2</sub>/L son típicos de agua marina de mala calidad, entonces podemos decir que si existe una gran contaminación en nuestra muestra pese a haberse sometido al proceso de fitorremediación.

Bautista [19] en su tesis sobre la eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*. La presencia de ellos hizo una diferencia considerable expeler la DBO5 de un 71,2 % a un 79,1 %, y para la DQO de 64,2 a 76,2 %, igualmente se obtuvieron valores similares en el tratamiento sin plantas, con eficiencia de 67% en la DBO5 y en 15 la DQO de 65,2 %. Por otro lado, Shapiama [20] en su investigación para el mejoramiento del vertimiento de aguas residuales en la PTAR, mediante el uso de floculante, sostiene que con 30 gr de Cal/L la concentración de DQO se redujo hasta en un 66,59 % dado que antes de colocar la Cal se tenía 544 mg/L de DQO y post colocación se obtuvo 183,1 mg/L de DQO.

TABLA 6. Resultados del parámetro plomo (Pb)

Capacidad mg/L	Inicio	Final
30%	0,002	0,00143

En la Tabla 6 se muestran los resultados del parámetro de plomo (Pb) encontrado al inicio es de 0,002 y el análisis final del agua tratada con macrófitos al 30% dio como resultado final 0,00143,

Mera [21] en su investigación de fitorremediación con macrófitos (*Eichhornia crassipes* y *Lemna spp*) afirma que de acuerdo a sus resultados obtenidos se obtuvo una reducción significativa de plomo es de decir de 5 ppm a 1,11 ppm, demostrando la capacidad acumulativa que tienen estas especies de macrófitos. Por otro lado, Castillo [22] de acuerdo a su investigación de fitorremediación de aguas contaminadas con Pb<sup>+2</sup> sostiene que la planta *S. Bilbola* es una gran removedora de Pb<sup>+2</sup>, ya que al estar expuesta varios días a distintas concentraciones de dicho contaminante son adsorbidos e incorporados en las raíces de las plantas donde son almacenados mediante la unión a proteínas y/o secuestrados en vacuolas intracelulares.

#### IV. CONCLUSIONES

Concluimos que en el puerto pesquero de Paita – Piura, la fitorremediación mediante planta macrófitas representa una tecnología alternativa eficiente, bajo costo, ecoamigable y con mucho futuro para la restauración de cuerpos aguas marinos, siendo además eficientes para equilibrar los parámetros y poder estar en los estándares calidad ambiental; sin embargo, en la reducción de plomo en agua de mar su eficiencia fue baja.

#### REFERENCIAS

- Rodríguez-Serin, H., Gamez-Jara, A., De La Cruz-Noriega, M., Rojas-Flores, S., Rodríguez-Yupanqui, M., Gallozzo Cardenas, M., & Cruz-Monzon, J. (2022). Literature Review: Evaluation of Drug Removal Techniques in Municipal and Hospital Wastewater. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(20), 13105. Doi: <https://doi.org/10.3390/ijerph192013105>

- [2] Rojas-Villacorta, W., Rojas-Flores, S., La Cruz-Noriega, D., Chinchay Espino, H., Diaz, F., & Gallozo Cardenas, M. (2022). Microbial Biosensors for Wastewater Monitoring: Mini-Review. *Processes*, 10(10), 2002. Doi:<https://doi.org/10.3390/pr10102002>
- [3] Otiniano, N. M., De La Cruz-Noriega, M., Cabanillas-Chirinos, L., Rojas-Flores, S., Muñoz-Ríos, M. A., Rojas-Villacorta, W., & Robles-Castillo, H. (2022). Arsenic Biosorption by the Macroalgae *Chondracanthus chamosoi* and *Cladophora* sp. *Processes*, 10(10), 1967. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr10101967>
- [4] Rojas-Flores, S., Benites, S. M., La Cruz-Noriega, D., Cabanillas-Chirinos, L., Otiniano, N. M., Rodriguez-Yupanqui, M., ... & Rojas-Villacorta, W. Generación bioelectricidad a partir de aguas residuales mediante celdas de combustible microbiano de bajo costo. Generation Bioelectricity from wastewater using low-cost microbial fuel cells. Doi: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.129>
- [5] Santiago, B., Rojas-Flores, S., De La Cruz Noriega, M., Cabanillas-Chirinos, L., Otiniano, N. M., Silva-Palacios, F., & Luis, A. S. (2020, July). Bioelectricity from *Saccharomyces cerevisiae* yeast through low-cost microbial fuel cells. In *Proceedings of the 18th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: Engineering, Integration, and Alliances for a Sustainable Development, Virtual* (pp. 27-31). Doi: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2020.1.1.102>
- [6] Noriega, M. D. L. C., Rojas-Flores, S., Benites, S. M., Otiniano, N. M., Cabanillas-Chirinos, L., Valdiviezo-Dominguez, F., ... & Rodriguez-Yupanqui, M. producción de bioelectricidad Use of waste from the sugar industry for the production of bioelectricity. Doi: <http://dx.doi.org/10.18687/LACCEI2021.1.1.130>
- [7] De La Cruz-Noriega, M., Rojas-Flores, S., Benites, S. M., Álvarez, M. Q., García, N. O., & Yupanqui, M. R. (2022). Use of *Leuconostoc Mesenteroides* to Produce a Dextran Biofloculant. *Environmental Research, Engineering and Management*, 78(1), 38-45. Doi:10.5755/j01.erem.78.1.29591
- [8] Pires-Lira, M. F., de Castro, E. M., Lira, J. M. S., de Oliveira, C., Pereira, F. J., & Pereira, M. P. (2020). Potential of *Panicum aquaticum* Poir.(Poaceae) for the phytoremediation of aquatic environments contaminated by lead. *Ecotoxicology and environmental safety*, 193, 110336. .
- [9] Rojas-Flores, S., La Cruz-Noriega, D., Nazario-Naveda, R., Benites, S. M., Delfin-Narciso, D., Angelats-Silva, L., & Murga-Torres, E. (2022). Use of Banana Waste as a Source for Bioelectricity Generation. *Processes*, 10(5), 942. Doi: <https://doi.org/10.3390/pr10050942>
- [10] Costa, M. B., Tavares, F. V., Martinez, C. B., Colares, I. G., & Martins, C. D. M. G. (2018). Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155, 117-124.
- [11] El Peruano “Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM-Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua”. 2017, Lima-Perú.
- [12] Costa, M. B., Tavares, F. V., Martinez, C. B., Colares, I. G., & Martins, C. D. M. G. (2018). Accumulation and effects of copper on aquatic macrophytes *Potamogeton pectinatus* L.: Potential application to environmental monitoring and phytoremediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 155, 117-124.
- [13] Mendoza Guerra, Y. I., Castro Echavez, F. L., Marín Leal, J. C., & Hedwig Behling, E. (2016). Phytoremediation as an alternative for domestic wastewater treatment from Riohacha City (Colombia). *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 39(2), 071-079.
- [14] BOYD, Claude. “Conductividad eléctrica del agua, parte 1”, Responsible Seafood-Avocate, October 2017.
- [15] RODRIGUEZ, C., et al. Causas de las variaciones de la conductividad eléctrica del agua subterránea en el acuífero Motril-Salobreña, España. *Geogaceta*, 2010, vol. 49, p. 107-110.
- [16] NOLLI; Junior Alexander. Aprovechamiento del agua de mar para agricultura de pequeña escala mediante riego solar en Negritos-Talara 2021
- [17] Arbizú, Y. S. C. (2021). Fluctuaciones del pH, alcalinidad, oxígeno disuelto y nutriente en Cayos Miskitos, municipio de Puerto Cabezas, Región Autónoma del Atlántico Norte (RAAN). *Revista Torreón Universitario*, 10(29), 154-165.
- [18] Carmenate, M. et al., Calidad del agua marina en un tramo costero con uso industrial de la provincia La Habana. *Aqua Docs*, p. 1–13, 2010.
- [19] BAUTISTA CAMPOS, D. J. (2022). “EFICIENCIA DE JACINTO DE AGUA (EICHHORNIA CRASSIPES) Y LECHUGA DE AGUA (PISTIA STRATIOTES) EN LA REMOCIÓN DE LA DBO5 DE LAS AGUAS RESIDUALES MUNICIPALES DEL DISTRITO DE CHOTA, 2020”.
- [20] Awad, H., Alalm, M. G., & El-Etriby, H. K. (2019). Environmental and cost life cycle assessment of different alternatives for improvement of wastewater treatment plants in developing countries. *Science of the Total Environment*, 660, 57-68.
- [21] Flores, S. J. R., Benites, S. M., Rosa, A. L. R. A. L., Zoilita, A. L. Z. A. L., & Luis, A. S. L. (2020). The Using Lime (*Citrus× aurantiifolia*), Orange (*Citrus× sinensis*), and Tangerine (*Citrus reticulata*) Waste as a Substrate for Generating Bioelectricity: Using lime (*Citrus× aurantiifolia*), orange (*Citrus× sinensis*), and tangerine (*Citrus reticulata*) waste as a substrate for generating bioelectricity. *Environmental Research, Engineering and Management*, 76(3), 24-34. Doi: <https://doi.org/10.5755/j01.erem.76.3.24785>
- [22] Ansari, A. A., Naeem, M., Gill, S. S., & AlZuaibr, F. M. (2020). Phytoremediation of contaminated waters: An eco-friendly technology based on aquatic macrophytes application. *The Egyptian Journal of Aquatic Research*, 46(4), 371-376.