

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



Una Institución Adventista

“Aplicación de la microalga *Chorella Vulgaris* como alternativa para la bioadsorción de metales pesados Pb, Hg, Cd en aguas”

Por:

Karen Jhadyn Puris Tovalino

Asesor:

Dr. Alex Rubén Huamán De la Cruz

Lima, Diciembre 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Dr. Alex Rubén Huamán De la Cruz de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado “APLICACIÓN DE LA MICROALGA *CHORELLA VULGARIS* COMO ALTERNATIVA PARA LA BIOADSORCIÓN DE METALES PESADOS PB, HG, CD EN AGUAS” constituye la memoria que presenta el estudiante académico de Bachiller en Ingeniería Ambiental cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 2 de Diciembre del año 2019.



Dr. Alex Rubén Huamán De la Cruz

“Aplicación de la microalga *Chorella Vulgaris* como alternativa para la bioadsorción de metales pesados Pb, Hg, Cd en aguas”

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

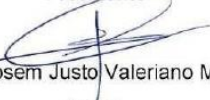
Presentado para optar el Grado Académico de Bachiller en Ingeniería
Ambiental

JURADO CALIFICADOR



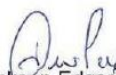
Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Presidente



Ing. Jappsem Justo Valeriano Mamani

Vocal



Mg. Jackson Edgardo Pérez Carpio

Secretario



Dr. Enrique Vega Beteta

Vocal



Dr. Alex Rubén Huamán De la Cruz

Asesor

Lima, 2 de Diciembre de 2019

Artículo de Revisión

“Aplicación de la microalga *Chorella Vulgaris* como alternativa para la bioadsorción de metales pesados Pb, Hg y Cd en aguas”

"Application of *Chorella Vulgaris* microalgae as an alternative for bioadsorption of heavy metals Pb, Hg and Cd in water"

Puris Tovalino, Karen Jhadyn

E.P. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú

Resumen

El objetivo principal fue revisar la aplicación de microalgas *Chorella vulgaris* para la adsorción de metales (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) en aguas residuales industriales. Metales que son empleados en diversos procesos productivos generando impactos al medio ambiente por medio de la emisión de contaminantes como partículas suspendidas de metal o inmersas en sus efluentes, siendo este último de mayor impacto ya que son vertidos directamente a cuerpos de agua afectando la salud ambiental y humana.

De acuerdo con lo expuesto en esta revisión se muestra que emplear la microalga *Chorella vulgaris* para la adsorción de metales a fin de mitigar el impacto que generan las aguas residuales industriales es una gran alternativa puesto que es amigable con el medio ambiente y económicamente viable frente a otros tratamientos convencionales de remoción de metales. Así mismo es importante considerar factores que influyen en la efectividad de adsorción.

Finalmente, basado en la literatura se puede afirmar que el factor de mayor influencia es el pH, la efectividad de adsorción guarda una relación indirectamente proporcional con la concentración de metal presente en el medio acuoso.

Palabras clave: microalgas, adsorción de metales pesados, *Chorella vulgaris*, aguas residuales industriales

Abstract

The main objective was to evaluate the application of *Chorella vulgaris* microalgae for the adsorption of metals (Hg), cadmium (Cd) and lead (Pb) in industrial wastewater. Metals that are used in various production processes generating impacts to the environment through the emission of pollutants such as suspended metal particles or immersions in their effluents, the latter being of greater impact since they are directly discharged into bodies of water affecting environmental health and human

According to what has been stated in this review, it is shown that *Chorella vulgaris* microalgae will be used for the adsorption of metals in order to mitigate the impact that industrial wastewater will have is a great alternative since it is environmentally friendly and economically viable against other metal metal removal treatments. It is also important to consider factors that influence the consideration of adsorption. Finally, based on the literature, it can be stated that the factor with the greatest influence is pH, the adsorption concentration is indirectly proportional to the concentration of metal present in the aqueous medium.

Key words: microalgae, heavy metal adsorption, *Chorella vulgaris*, industrial wastewater

Autor de correspondencia:
Universidad Peruana Unión
Telf: 970290960
E-mail. karenpuris@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

La presencia de metales en agua es de forma natural pero en concentraciones mínimas, esto se ve afectado cuando hay intervención de actividad antropogénica (Khan et al., 2010).

Diversas actividades demandan el uso indirecto o directo del recurso hídrico, lo cual ha tenido muchas consecuencias negativas puesto que son emitidos al medio y vertidos en cuerpos de agua afectando la calidad de vida acuática y terrestres así también la calidad de vida de las personas, ecosistemas y biodiversidad (O'Connell, Birkinshaw, & O'Dwyer, 2008; Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2015) Estas actividades contaminan los cuerpos de agua exponiendo a peces y demás vida acuática que son susceptibles a acumular en su interior dichos metales, siendo que esto afecta a toda la cadena alimenticia (Burger & Gochfeld, 2005; Senior et al., 2016).

La contaminación por metales pesados cada vez es mayor y con ello la gravedad de sus consecuencias puesto que no son biodegradables y son bio-acumulativos; este último junto con su toxicidad representa un peligro para la salud de la población. (Ali, Khan, & Sajad, 2013). En medida que la industrialización se incrementa con ello el problema de contaminación de aguas por metales pesados. Los metales pesados Cadmio(Cd), plomo (Pb), y mercurio (Hg) son emitidos por actividades industriales y tecnológicas, causando un gran impacto en el medio ambiente y con ello afectando a los compartimientos ambientales (Baldi et al., 2012; Paisio et al., 2012).

Los metales pesados son persistentes no son creados mediante procesos biológicos, es por ello que al entrar en contacto con ecosistemas acuáticos mediante procesos biogeoquímicos es distribuida entre especies afectando a la cadena alimenticia y degradando ecosistemas (Jos et al, 2010; Reyes et al, 2016)La acumulación de metales pesados en aguas representan un peligro latente a la salud humana y ambiental (Khan et al., 2010; Suresh et al., 2015) El Hg es un contaminante con alto grado de toxicidad y el impacto que genera en los compartimientos ambientales como el agua y suelo presentan una amenaza a la salud ambiental y humana (Dhankher, Pilon, Meagher, & Doty, 2012; Paisio et al., 2012). Las aguas contaminadas por metales pesados afectan las actividades económicas, calidad de vida y por ello es necesario su supervisión periódica para garantizar su calidad (Moreno et al., 2012)

Se tienen normativas ambientales que exigen su cumplimiento a fin de conservar nuestros compartimientos ambientales ello es razón de que las industrias aplican tratamientos convencionales para mejorar la calidad física y microbiológica del agua antes de ser vertidas a un cuerpo de agua, pocas veces se consideran las concentraciones de metales pesados presentes a pesar de estar incluido dentro de los parámetros. Existen técnicas para la remoción o adsorción de metales pesados que no son empleados debido a que ello demanda mayores costos y otras tecnologías.

Diariamente se ingiere agua con algunos minerales en ciertas cantidades los cuales no son un peligro para la salud, sin embargo, en zonas que se encuentren relativamente cerca de mineras o industrias que empleen minerales en su proceso, los cuerpos de agua pueden verse afectados con incremento considerable de metales presentes en el agua lo cual es dañino para la salud humana

En un estudio realizado Huaranga Moreno, Méndez García, Quilcat León y Huaranga Arévalo (2012) se muestra que la actividad minera contamina las aguas de la Cuenca del Río Moche, La Libertad con metales pesados y causando daño a los cultivos y a la salud de la población aledaña.

Existe evidencia que en poblaciones aledañas a mineras, relaves o minas abandonadas la población presenta altos niveles de contaminación por plomo sienta este adquirido mediante la respiración por pequeñas partículas de metal suspendido y por ingesta en el agua que consumen (Astete et al., 2009; Pebe, Villa, Escate, & Cervantes, 2004).

En relación a lo ya mencionado, es importante que el efluente antes de ser vertida a un cuerpo de agua o en su tratamiento para riego tenga concentraciones mínimas de metales pesados cumpliendo con los estándares a fin de no causar daño en la salud ambiental y humana. Puesto que los metales pesados inmersos en el medio ambiente y alimentos pueden desarrollar diversas intoxicaciones causando fuertes daños a la salud humana y animal e incluso la muerte (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

Según la UNESCO (2016) entre los contaminantes del agua que son a causa de la actividad antropogénica se encuentran patógenos, metales pesado, materia orgánicas; este al mismo tiempo es considerado como la mayor causa de la pérdida de calidad. Así mismo se tiene que más del 80% de aguas residuales en países en desarrollo son vertidas a cuerpos de agua sin previo tratamiento. Se ha comprobado que en zonas rurales y comunidades indígenas, las principales fuentes de agua de las que se extrae agua para los cultivos y consumo directo tienen presencia de metales pesados (Internacional, 2017). El 80% de la población latinoamericana está expuesta a fuentes contaminadas, así mismo el 70% de aguas residuales no son tratadas (Lissarrague, 2015)

Perú y Chile son países con mayor exposición de metales pesados presentes en agua que con ello asociado el aumento de morbilidad y mortalidad por diferentes enfermedades provenientes de metales pesados (Gonzales et al., 2014).

Fundamentando que la contaminación por metales pesados presentes en altas concentraciones en el ambiente y el humano es dañina se ha realizado la revisión del uso de microalgas *Chlorella vulgaris* para la adsorción de metales pesados en agua con ello disminuir el impacto que este tiene sobre el medio ambiente y la salud humana. Existe la metodología de aplicación, que puede ser adoptada puesto que no demandan mayores tecnologías ajena a nuestro alcance.

Tratamientos convencionales de para la remoción o adsorción de metales pesados

Existen tratamientos convencionales para el tratamiento de aguas o efluentes en plantas de tratamiento pertenecientes a las industrias propias que se encargan de mejorar la calidad del efluente antes de ser emitidos, sin embargo, se puede afirmar que dichos tratamientos son efectivos en mejorar la calidad microbiológica y física, pero son ineficientes en cuanto metales pesados puesto que los tratamientos son costosos o requieren de una nueva tecnológica. Existe la adsorción por carbón activado para remover los metales pesados pero estos son costosos, por ello se buscan alternativas de mayor factibilidad (Chojnacka, 2010). Las aguas residuales denominadas aquellas cuyas características originales han sido cambiadas durante algún uso en la actividad antropogénica y que debido a ello necesita un tratamiento antes de ser vertida a un cuerpo de agua (OEFA, 2014). También aquellas que por uso antropogénico pueden representar un peligro y deben ser desechadas debido a la alta carga de sustancias y/o microorganismos que pueden ser vehículo de contaminación (Espigares & Pérez, 2009).

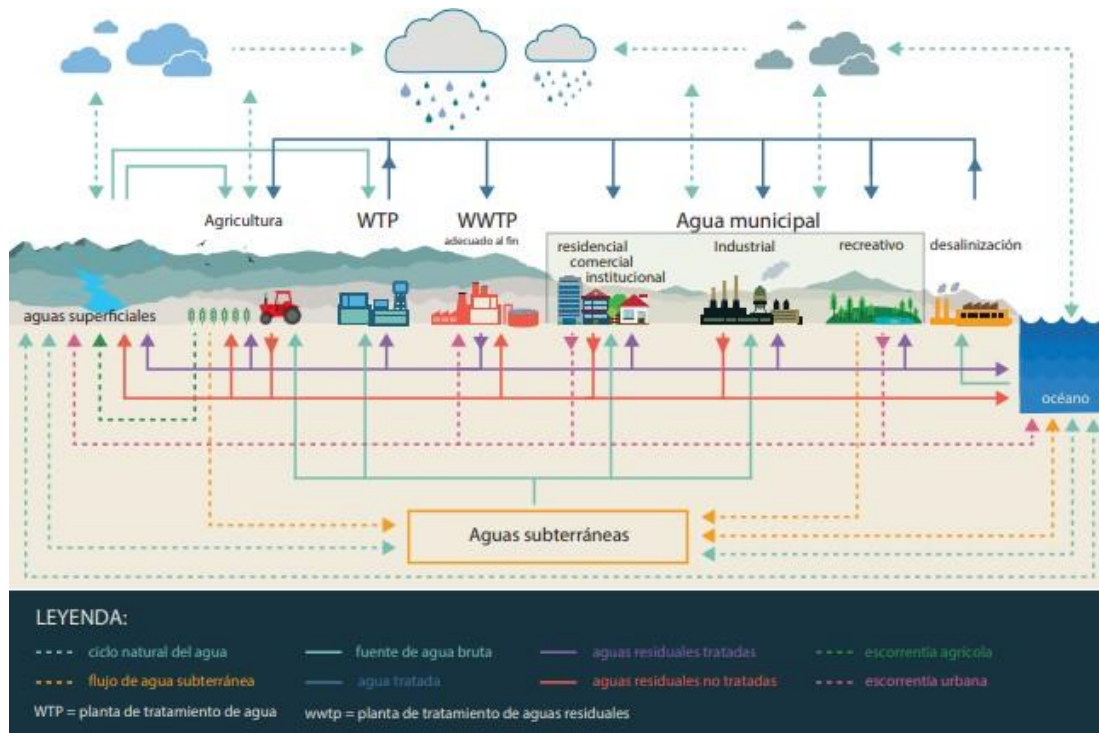


Figura 1. Aguas residuales en el ciclo de agua

Clasificación de aguas residuales:

- Aguas residuales industriales
- Aguas residuales domesticas
- Aguas residuales municipales

Tabla 1.

Ventaja y desventaja con tratamientos convencionales para la remoción de metales pesados.

| Método | Ventajas | Desventajas |
|---|---|--|
| Precipitación química | Simple Remoción de metales Costos regulares | Genera lodos Problemas de disposición de lodos |
| Adsorción empleando carbón activado | Alta remoción de metales Eficiencia en un 99% | Altos costos Baja regeneración Baja eficiencia |
| Procesos de membrana y ultrafiltración | Baja generación de residuos Bajo consumo químico Eficiencia en un 95% | Altos costros de inicio y mantenimiento Caudal bajo |

Fuente:(O'Connell et al., 2008).

En la **Tabla 1** se muestra una comparación de la gran ventaja que brinda aplicar la biomasa de una microalga para la adsorción de metales pesados frente a un tratamiento convencional por bioacumulación, resaltando a ello con sí se cuenta con la tecnología necesaria para su aplicación, siendo que esto no implica gastos altos.

Tabla 2.

Comparación de procesos

| Biosorción | Bioacumulación |
|---------------------------------|---|
| Proceso pasivo | Proceso Activo |
| Biomasa sin vida | Biomasa con vida |
| Adhesión a la pared celular | Adhesión y adsorción en paredes celulares |
| Rápido | Lento |
| Sin crecimiento celular | Crecimiento celular |
| Recuperación y reuso de metales | No hay recuperación de metales |
| No requiere nutrientes | Requiere nutrientes |

Fuente: (Chojnacka, 2010)

Propiedades físico-químicas

Las propiedades fisicoquímicas del agua que tienen influencia en el crecimiento de microalgas *Chorella vulgaris* que serán empleadas para la adsorción de los metales cadmio (Cd), plomo (Pb) y mercurio (Hg).

Tabla 3 Propiedades físico- químicas que influyen en la producción de *Chorella vulgaris*

| PARAMETROS | DESCRIPCION |
|-----------------------------------|--|
| Físicas | Influencia biológica del medio acuático en la productividad de microalgas. |
| Luz Natural | La luz natural en ambientes acuáticos penetra con cierta profundidad bajo la ley de Lambert Beer, que varía de acuerdo al tipo del agua; siendo que tiene incidencia. Significativa en la producción de microalgas |
| Luz artificial | Siendo que se tiene más control de ella en cuanto a intensidad y periodicidad, pero ello no garantiza la efectividad puesto que su espectro es diferente de la luz natural. |
| Concentración de Nitrógeno | La fuente y concentración de nitrógeno son determinantes en el crecimiento y composición bioquímica de la una especie. |
| Temperatura | En climas tropicales el crecimiento a cielo abierto es más productivo, la productividad disminuye en relación directa de la temperatura. |
| Salinidad | Este factor es influenciado por temperatura, concentración de nitrógeno y nutrientes y depende de cada alga. |
| Nutrientes | Las microalgas requieren de nitrógeno, fósforo y azufre para realizar biosíntesis. |
| pH | Influencia en la velocidad de crecimiento, existe una relación indirecta entre la disociación y solubilidad, siendo en algunos casos perjudicial. |
| Carbono | Es variante de acuerdo con la cantidad de CO ₂ . |
| Oxígeno disuelto | Es necesario para la fotosíntesis, pero su saturación puede reducir su productividad. |

Elaboración propia

Microalgas y la eficiencia de biadsorción de metales en aguas residuales:

Organismos sintéticos que conocidos como biomasa son parte de la cadena alimenticia con gran influencia en los productores primarios (Perales, Peña, & Cañizares, 2006; Priyadarshani, Sahu, & Rath, 2011).

Las microalgas tienen una afinidad por metales polivalentes es razón de su aplicación para limpieza o adsorción de metales de aguas residuales (De-Bashan & Bashan, 2010; Ravindran, Mayur, Hun, Akhil, & Kumar, 2017). *Chorella vulgaris* tiene gran capacidad en eliminación de Cd con condiciones de pH 2-8.2 y temperatura de entre 20°-50°. (Doshi, Ray, & Kothari, 2007).

La microalga *Chlorella vulgaris* tiene gran afinidad de adsorción de metales pesados debido a la carga negativa posee alta afinidad por iones de metales pesados, es considerado un método económico, con una eficiencia de un 99% de efectividad en el tratamiento de efluentes mineros siendo adaptado fisiológicamente por el estrés de la contaminación.

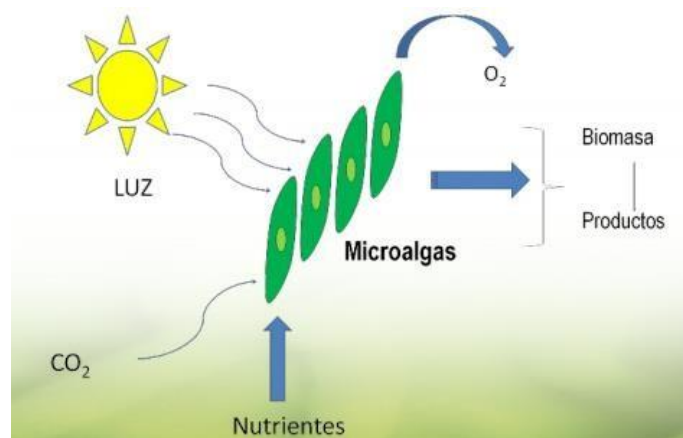


Figura 2. Mecanismo de producción de microalgas

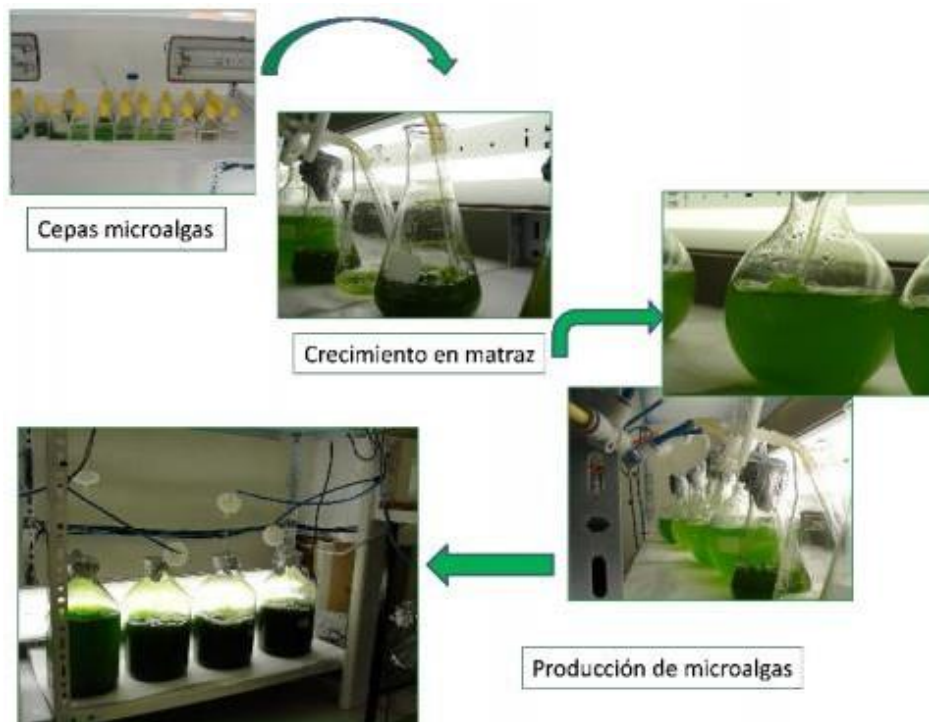


Figura 3 Producción de la microalga

Tabla 4.

Fases del crecimiento y desarrollo de microalgas

| Fase | Duración | Características |
|---|-----------------|--|
| Inducción | 1-3 días | Adsorción de nutrientes por células, adaptación al medio. En esta etapa las células no se dividen puesto que no es un contexto adecuado, necesitan que se den las condiciones adecuadas. |
| Exponencial | 4 días | Las células ya lograron adaptarse, por ello se hace posible su multiplicación; durante esta fase la división celular es rápida. |
| Estacionaria | | La población de algas se mantiene constante, con una duración demasiado corta. |
| Declinación relativa del crecimiento | 1-2 días | En esta fase la división celular disminuye, debido a algunos factores como agotamiento de nutrientes, disminución de radiación, desequilibrio de pH. |
| Muerte | | Las condiciones desfavorables son mayores para el desarrollo de la microalga, se muere el cultivo. |

Fuente: (Peña & Quiroz, 2016)

Fases de aplicación de la biomasa proveniente de *Chlorella Vulgaris*

Tabla 4

Fases de aplicación

| Fases | Descripción |
|--|---|
| Fase 1: Recolección de la muestra de agua | Se tomarán algunos parámetros en campo y las muestras serán trasladadas a un laboratorio. |
| Fase 2: Análisis de la muestra de agua. | Entregar a los laboratorios las muestras para su análisis. |
| Fase 3: Obtención y producción de la biomasa de la microalga <i>Chlorella vullgaris</i> . | La microalga <i>Chlorella vullgaris</i> serán cultivadas en matraces en aguas con nutrientes (Bay Folan), estas serán incubadas y expuestas a un fluorescente la cual proporcionará luz a una intensidad de 80 μ mol fotón, para ello la solución debe tener un pH de entre 7 y 7,5 por un periodo de 7 días. |
| Fase 4: Aplicación de la biomasa de la microalga <i>Chlorella vulgaris</i> para la adsorción de metales pesados. | Se realizará la aplicación de la biomasa en función del pH, tiempo de contacto, dosis de adsorbente y concentración del metal pesado. |
| Fase 5: Evaluar la efectividad de bioadsorción de cada metal Pb, Cd, Hg. | Analizar las muestras en las que se aplicará la biomasa de la microalga <i>Chlorella vullgaris</i> y evaluar su efectividad para con cada metal. |

Elaboración propia

Tabla 6.

Resultados de la aplicación de *Chlorella Vulgaris*

| Metal | Temperatura | Modelo | pH | Tipo de biomasa | Porcentaje de remoción | Tiempo de contacto | Agitación | Referencia |
|-----------|-------------|---------------------|---------|-----------------|------------------------|--------------------|-----------|---|
| Cd | 20°-50° | Langmuir Freundlich | 4 | muerta | 40% | 30min | 150 rpm | (Aksu, 2006) |
| | 20°-30° | Langmuir | 7 | muerta | 89% | 30 min | 200 rpm | (Inthorn et al., 2002)) |
| | 20°-30° | langmuir | 3-6 | muerta | | >25 min | 150 rpm | (Klimmek, Stan, Wilke, Bunke, & Buchholz, 2001) |
| | 30°-50° | Langmuir | 5-7 | muerta | 65% | | | (Cataldo., 2013) |
| Hg | 28° | Langmuir | 7 | muerta | 96% | 30 min | 200 rpm | (Inthorn et al., 2002) |
| Pb | 28° | Langmuir | 7 | muerta | 88% | 30 min | 200 rpm | (Inthorn et al., 2002) |
| | 20°-30° | Langmuir | 3-6 | muerta | | >25 min | 150 rpm | (Klimmek et al., 2001) |
| | 25°-35° | Langmuir Freundlich | 3.4-5.5 | muerta | 60% | N.E | N.E | (Ferreira et al., 2011) |

Elaboración propia

Siendo una alternativa amigable con el ambiente, además que no implica mayores gastos de implementación y mantenimiento. No es necesario el uso de químicos durante el crecimiento o producción de microalga, tampoco cuando este es aplicado para la biadsorción. *Chorella vulgaris* tiene gran capacidad en eliminación de Cd con condiciones de pH 2-8.2 y temperatura de entre 20°-50° (Doshi et al., 2007).

Se han realizado estudios y pruebas con la aplicación de *Chorella vulgaris*, para la remoción de metales pesados como cadmio, plomo y mercurio que son de mayor incidencia en cuanto a contaminación de cuerpos de agua en nuestro país (Huaranga et al., 2012). Según Aksu (2006) empleando biomasa muerta de la microalga *Chorella vulgaris* adsorbe un 40% de cadmio (Cd) en una muestra empleando una temperatura de 20°C incrementándose este de forma gradual y logrando alcanzar hasta 50°C con un pH de 4.

De acuerdo con Inthorn, Sidtitoon, Silapanuntakul, & Incharoensakdi (2002), empleando *chorella vulgaris* se logró una adsorción de mercurio, cadmio y plomo, en un 92%, 89% y 84% respectivamente teniendo diferentes concentraciones, de este estudio podemos destacar que la mejor adsorción se da para reducir la concentración de mercurio (Hg) en aguas.

En el estudio realizado por Klimmek, Stan, Wilke, Bunke, & Buchholz (2001) se muestra que el tiempo de contacto y la concentración son determinantes en la capacidad de remoción de metales con esta microalga así mismo el pH del medio. La eficacia de la remoción guarda una relación estrecha y indirecta con la concentración del metal, es decir a mayor concentración menor remoción y viceversa. Por otro lado Borja, García, Yipmantin, Guzmán, & Maldonado (2015), afirma la relación entre el tiempo de contacto y concentración del metal.

Según Forero (2012) afirma que el tiempo de contacto junto con la velocidad de adsorción garantizan la efectividad de la microalga para la disminución de concentración de metales en agua. El pH es un parámetro con mayor influencia en la efectividad o afectación durante el proceso de bioadsorción de metales del medio acuoso (Plaza Cazón, 2012).

A partir de la obtención y producción para obtención de la biomasa de microalga *Chlorella vulgaris*, se aplicará la biomasa para la adsorción de metales para lo cual se considerará el pH, tiempo de contacto, dosis de adsorbente (*Chlorella vulgaris*) y el metal pesado (Napiórkowsk et al., 2016)

Ventajas de modelos

Entre los modelos aplicados para cuantificar la remoción se adoptó Langmuir y Freundlich en el se consideró la concentración del metal CF y peso (gr) de biomasa proveniente de la microalga aplicada, aplicar dichas microalgas en tratamiento para adsorción de metales es precisa puesto que no causa efectos. Y si de costos se trata, resulta económica a comparación de otros tratamientos.

Los métodos de producción de microalgas no requieren mayor tecnología, solo las condiciones para su desarrollo, la aplicación de la biomasa en la adsorción no genera residuos tóxicos y/o peligrosos.

Conclusión

Después de una revisión estricta de la literatura en relación a la microalga *Chorella vulgaris* se puede afirmar que la efectividad de remoción que tiene para con metales pesados es directamente influida por parámetros fisicoquímicos, entre todos el más determinante de es el pH; también se puede asegurar que su aplicación es una alternativa sostenible para adsorción de metales pesados en agua

Las microalgas cuentan con gran potencial en la adsorción de metales pesados, pero para ellos es importante brindarles las condiciones adecuadas entre ellos las propiedades físico químicas más importantes como pH, temperatura, luz, concentración de metales, nutrientes siendo que estos influyen en su productividad.

Se propone la evaluación de alternativas de disposición de microalgas empleadas para la adsorción de metales, a fin de no exponerlos a la intemperie puesto que podría convertirse en un problema ambiental.

Referencias

- Aksu, Z., & Dönmez, G. (2006). Binary biosorption of cadmium(II) and nickel(II) onto dried *Chlorella vulgaris*: Co-ion effect on mono-component isotherm parameters. *Process Biochemistry*, 41(4), 860–868. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2005.10.025>
- Ali, H., Khan, E., & Sajad, A. (2013). Phytoremediation of heavy metals-Concepts and applications. *Chemosphere*, Vol. 91, pp. 869–881. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.01.075>
- Astete, J., Cáceres, W., Gastañaga, M. C., Lucero, M., Sabastizagal, I., Oblitas, T., ... Rodríguez, F. (2009). Lead intoxication and other health problems in children population who live near mine tailing Intoxicación por plomo y otros problemas de salud en niños de poblaciones aledañas a relaves mineros. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 26(1), 15–19.
- Baldi, F., Gallo, M., Marchetto, D., Fani, R., Maida, I., Horvat, M., ... Hines, M. (2012). Seasonal mercury transformation and surficial sediment detoxification by bacteria of Marano and Grado lagoons. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 105–115. <https://doi.org/10.1016/j.ecss.2012.02.008>
- Borja, N. A., García, V., Yipmantin, A., Guzmán, E., & Maldonado, H. (2015). *Estudio de la cinética de biosorción de Plomo (II)*. 81(3), 212–223.
- Burger, J., & Gochfeld, M. (2005). Heavy metals in commercial fish in New Jersey. *Environmental Research*, 99(3), 403–412. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2005.02.001>
- Chojnacka, K. (2010). Biosorption and bioaccumulation: the prospects for practical applications. *Environment International*, 36(3), 299–307. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2009.12.001>
- De-Bashan, L. E., & Bashan, Y. (2010). Immobilized microalgae for removing pollutants: Review of practical aspects. *Bioresource Technology*, 101(6), 1611–1627. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.09.043>
- Dhankher, O. P., Pilon, E. A. H., Meagher, R. B., & Doty, S. (2012). Biotechnological approaches for phytoremediation. In *Plant Biotechnology and Agriculture* (pp. 309–328). <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-381466-1.00020-1>

- Doshi, H., Ray, A., & Kothari, I. L. (2007). Bioremediation potential of live and dead *Spirulina*: Spectroscopic, kinetics and SEM studies. *Biotechnology and Bioengineering*, 96(6), 1051–1063. <https://doi.org/10.1002/bit.21190>
- Espigares, M., & Pérez, J. (2009). *Aspectos sanitarios del estudio de las aguas residuales*. 22. Retrieved from http://cidta.usal.es/cursos/EDAR/modulos/Edar/unidades/LIBROS/logo/pdf/Aguas_Residuales_composicion.pdf
- Ferreira, L., Rodrigues, M., De Carvalho, J., Lodi, A., Finocchio, E., Perego, P., & Converti, A. (2011). Adsorption of Ni²⁺, Zn²⁺ and Pb²⁺ onto dry biomass of *Arthrospira* (*Spirulina*) *platensis* and *Chlorella vulgaris*. I. Single metal systems. *Chemical Engineering Journal*, 173(2), 326–333. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.07.039>
- Forero, L. A. (2012). *Medición de la capacidad de Chlorella vulgaris y Scenedesmus acutus para la remoción de cromo de aguas de curtiembre (Sorption capacity measure of Chlorella vulgaris and Scenedesmus acutus to remove chromium from tannery waste water)*. Retrieved from <http://bdigital.unal.edu.co/10276/1/299936.2012.pdf>
- Gonzales, G. F., Zevallos, A., Gonzales, C., Nuñez, D., Gastañaga, C., Cabezas, C., ... Steenland, K. (2014). Environmental pollution, climate variability and climate change: A review of health impacts on the peruvian population. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Publica*, 31(3), 547–556. Retrieved from http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342014000300021
- Huaranga, F., Méndez, E., Quilcat, V., & Huaranga, F. (2012). Pollution by heavy metals in the Moche River Basin, 1980 - 2010, La Libertad - Peru. *Scientia Agropecuaria*, 235–247. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2012.03.05>
- Internacional, A. (2017). *Noticia -AGUA: Miles de personas en el Perú consumen agua contaminada con metales como cadmio, arsénico, mercurio y plomo*. Retrieved from https://amnistia.org.pe/noticia/dia-agua-metales-toxicos/#_ftn1
- Inthorn, D., Sidtitoon, N., Silapanuntakul, S., Incharoensakdi, A., & Perez, J. (2002). Sorption of mercury, cadmium and lead by microalgae. *ScienceAsia*, 28(3), 253. <https://doi.org/10.2306/scienceasia1513-1874.2002.28.253>
- Jos, J., Martorell, V., & Anal, M. (2010). *Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Suratlantica Andaluza afectados por contaminación difusa* (Universidad de Cádiz). Retrieved from https://rodin.uca.es/xmlui/bitstream/handle/10498/15776/Tes_2010_06.pdf
- Khan, S., El-Latif Hesham, A., Qiao, M., Rehman, S., & He, J.-Z. (2010). Effects of Cd and Pb on soil microbial community structure and activities. *Environmental Science and Pollution Research*, 17(2), 288–296. <https://doi.org/10.1007/s11356-009-0134-4>
- Klimmek, S., Stan, H.-J., Wilke, A., Bunke, G., & Buchholz, R. (2001). Comparative Analysis of the Biosorption of Cadmium, Lead, Nickel, and Zinc by Algae. *Environmental Science & Technology*, 35(21), 4283–4288. <https://doi.org/10.1021/es010063x>
- Lissarrague, J. R. (2015). Las aguas residuales y sus consecuencias en el Perú. *Revista de La Facultad de Ingeniería de La USIL*, 2(1991), 9–25.
- Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Bioteconología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14(2), 145. [https://doi.org/10.18684/BSAA\(14\)145-153](https://doi.org/10.18684/BSAA(14)145-153)
- Moreno, C., Zugazagoitia, R., Sánchez, C., Córdoba, R., & Melo, V. (2012). Determinación de

- metales pesados en el agua de un canal de Xochimilco (México, D.F.) como proyecto de Servicio Social / Determination of heavy metals in a Xochimilco water canal (Mexico City) as a Social Service project. *Educ. Quím*, 23(3), 375–382. Retrieved from <http://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v23n3/v23n3a8.pdf>
- Napiórkowsk, A., Hussian, A., Abd, A., Goher, M. E., Abdel, A. M., & Ali, M. H. (2016). Biosorption of some toxic metals from aqueous solution using non-living algal cells of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Elementology*, 21(3/2016), 703–714. <https://doi.org/10.5601/jelem.2015.20.4.1037>
- O’Connell, D., Birkinshaw, C., & O’Dwyer, T. (2008). Heavy metal adsorbents prepared from the modification of cellulose. *Bioresource Technology*, 99(15), 6709–6724. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.01.036>
- OEFA, O. de E. y F. A. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. Retrieved from https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Paisio, C. E., González, P. S., Talano, M. A., & Agostini, E. (2012). Artículo de revision crítica Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances Biological remediation of Mercury: Recent advances. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 3(2), 119–146. Retrieved from <http://eca-suelo.com.pe/wp-content/uploads/2018/08/32.-Remediación-biológica-de-Mercurio-Recientes-avances.pdf>
- Pebe, G., Villa, H., Escate, L., & Cervantes, G. (2004). Blood lead levels in newborns from La Oroya 2004-2005. *Scielo*, 25(4), 2004–2005. Retrieved from <http://www.ins.gob.pe/insvirtual/images/artrevista/pdf/rpmesp2008.v25.n4.a2.pdf>
- Peña, J., & Quiroz, C. (2016). *Algas diminutas. Un recurso natural renovable, abundante y de gran potencial industrial // Propiedad Pública / Apropiación social del Conocimiento*. Retrieved from <http://www.propiedadpublica.com.co/algas-diminutas-un-recurso-natural-renovable-abundante-y-de-gran-potencial-industrial/>
- Perales, H., Peña, J., & Cañizares, R. (2006). Heavy metal detoxification in eukaryotic microalgae. *Chemosphere*, 64(1), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.11.024>
- Plaza Cazón, J. (2012). “Remoción de metales pesados empleando algas marinas.” *Universidad De La Plata, Facultad de Ciencias Exactas.*, 158. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/2770/Documento_completo_.pdf?sequence=17
- Priyadarshani, I., Sahu, D., & Rath, B. (2011). *Microalgal bioremediation: current practices and perspectives*. Retrieved from <https://jbiochemtech.com/storage/models/article/8m1pamFT9ei6rcJh2QgDnbpVmLnVDe1waZpBAocCI6lde97Lk7WH8mnQq5oJ/microalgal-bioremediation-current-practices-and-perspectives.pdf>
- Ravindran, B., Mayur, B., Hun, B., Akhil, N., & Kumar, S. (2017). Algal Biofuels: Recent Advances and Future Prospects. Retrieved November 4, 2019, from https://books.google.com.pe/books?id=taA7DgAAQBAJ&pg=PA186&lpg=PA186&dq=r+ajamani,+pokethitiyook+upatham+lanza+2004&source=bl&ots=FYIHFusNIO&sig=ACfU3U0x2VAVhYtj3Ao3xFM_Dd907WHeDA&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiNiqKM_9DI AhWxxVkKHdP_AtAQ6AEwBnoECAkQAQ#v=onepage&q=r
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Mercedes, D., & Gonzáles, E. (2016). Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria Heavy metals contamination : implications for health and food safety. *Revista Ingeniería, Investigación y*

Desarrollo, 16, 66–77.

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales. (2015). Agua. *Informe de La Situación Del Medio Ambiente En México*, 363–429. Retrieved from <https://apps1.semarnat.gob.mx:445/dgeia/informe15/index.html>

Senior, W., Cornejo, M., Tobar, M., Ramírez, & Márquez, A. (2016). Heavy metals (cadmium, lead, mercury) and arsenic in frozen fish of high consumption in Ecuador. Retrieved October 28, 2019, from ResearchGate website: https://www.researchgate.net/publication/316583166_METALES_PESADOS_CADMIO_PLOMO_MERCURIO_Y_ARSENICO_EN

Suresh Kumar, K., Dahms, H. U., Won, E. J., Lee, J. S., & Shin, K. H. (2015). Microalgae - A promising tool for heavy metal remediation. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 113, 329–352. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2014.12.019>

UNESCO. (2016). La contaminación del agua Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Retrieved November 11, 2019, from <http://www.unesco.org/new/es/natural-sciences/environment/water/wwap/facts-and-figures/all-facts-wwdr3/fact-15-water-pollution/>