

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



Una Institución Adventista

Uso de las algas *Macrocystis Pyrifera* Bory y *Lessonia Nigrescens* Bory para el tratamiento de efluentes mineros

Por:

Derek Enrique Lazo Chavez
Thalia Mesias Sanchez

Asesor:

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Lima, diciembre de 2019

**DECLARACIÓN JURADA
DE AUTORIA DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio, 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: "Uso de las algas *Macrocystis Pyrifera* Bory y *Lessonia Nigrescens* Bory para el tratamiento de efluentes mineros" constituye la memoria que presentan los estudiantes Derek Enrique Lazo Chavez y Thalia Mesias Sanchez para aspirar al Grado 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, al 02 de diciembre del año 2019.



Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Uso de las algas *Macrocyctis Pyrifera* Bory y *Lessonia Nigrescens*
Bory para el tratamiento de efluentes mineros

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Presentado para optar el Grado Académico de Bachiller en
Ingeniería Ambiental

JURADO CALIFICADOR



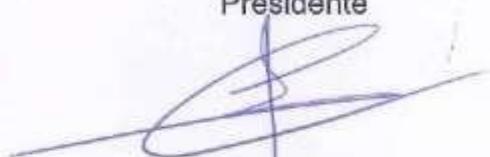
Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga

Presidente



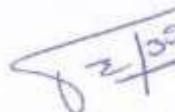
Dr. Alex Rubén Huamán De La Cruz

Secretario



Ing. Jappsem Justo Valeriano Mamani

Vocal



Dr. Enrique Vega Beteta

Vocal



Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio

Asesor

Lima, 02 de diciembre de 2019

Uso de las algas *Macrocystis Pyrifera* Bory y *Lessonia Nigrescens* Bory para el tratamiento de efluentes mineros

USE OF MACROCYSTIS PYRIFERA BORY AND LESSONIA NIGRESCENS BORY ALGAE FOR THE TREATMENT OF MINING EFFLUENTS

DEREK ENRIQUE LAZO CHAVEZ^{§*}, THALIA MESIAS SANCHEZ[§].

§EP. Ingeniería Ambiental, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú.

Resumen

La contaminación hídrica por metales pesados puede llegar a ser un problema muy grave para el medio ambiente, esto se complica cuando hablamos sobre efluentes mineros y generan grandes cantidades de residuos las cuales son vertidas en forma de líquidos, siendo que estos líquidos comparados a otras empresas contienen más altas concentraciones de diferentes metales. En vista de una problemática permanente, han aparecido tecnologías para combatirla y entre todas ellas la que más destaca es la adsorción algal ya que presenta innumerables ventajas como bajo costo, alta capacidad de remoción de metales y aparente inmunidad a los medios acuosos tóxicos. Es por ello que este trabajo presenta una revisión de las múltiples investigaciones del uso de la biomasa algal resultando ser un excelente método sostenible para la remediación de metales pesados gracias a su baja relación entre la cantidad de biosorbente usada y el volumen del medio acuoso, de 1g a 500mL siendo el valor promedio en 10 de 17 investigaciones, las otras 7 pruebas poseen relaciones muy bajas como 0.1g a 1000mL y muy altas como 48g a 1000mL; y la utilización del Modelo Langmuir, evaluando dos parámetros: la capacidad máxima de adsorción (q_{max}) siendo el Cadmio con 0.87 mmol/g y Zinc con 12.71 L/mmol las de mayor capacidad de adsorción, y el coeficiente relativo de afinidad (b), siendo el Plomo con 892 mg/g y el Cadmio con 1.04 L/mg las de mayor afinidad de las macroalgas *Macrocystis Pyrifera* Bory y *Lessonia Nigrescens* Bory respectivamente. También se midió el efecto del pH en la remoción de estos contaminantes, siendo los valores de 4 a 6 los que más se repiten y de mayor eficiencia en la remediación.

Palabras claves: Contaminación hídrica, metales pesados, adsorción algal, remediación, relación biosorbente y volumen, pH, modelo Langmuir.

Abstract

Heavy metal water pollution can be a very serious problem for the environment, this is complicated when we talk about mining effluents and generate large amounts of waste which are discharged in the form of liquids, these liquids being compared to other companies They contain higher concentrations of different metals. In view of a permanent problem, technologies to combat it have appeared and among all of them the one that stands out most is the algal adsorption since it has innumerable advantages such as low cost, high metal removal capacity and apparent immunity to toxic aqueous media. That is why this work presents a review of the multiple investigations of the use of algal biomass proving to be an excellent sustainable method for the remediation of heavy metals thanks to its low relationship between the amount of biosorbent used and the volume of the aqueous medium, of 1g at 500mL being the average value in 10 of 17 investigations, the other 7 tests have very low ratios such as 0.1 g to 1000mL and very high as 48g to 1000mL; and the use of the Langmuir Model, evaluating two parameters: the maximum adsorption capacity (q_{max}) with Cadmium being 0.87 mmol / g and Zinc with 12.71 L / mmol having the highest adsorption capacity, and the relative affinity coefficient (b), Lead with 892 mg / g and Cadmium with 1.04 L / mg being the highest affinity of *Macrocystis Pyrifera* Bory and *Lessonia Nigrescens* Bory macroalgae respectively. The effect of pH on the removal of these pollutants was also measured, with values from 4 to 6 being the ones that are most repeated and with the greatest efficiency in remediation.

Key words: Water pollution, heavy metals, algal adsorption, remediation, biosorbent ratio and volume, pH, Langmuir model.

Autor de correspondencia:

Universidad Peruana Unión. Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima

Tel.: 952048271

E-mail: thaliamesias@upeu.edu.pe

Introducción

La contaminación hídrica por metales pesados es uno de los principales problemas más acuciantes ocasionada como consecuencia de la mala disposición de las aguas residuales de diversas actividades industriales a las cuencas hidrográficas, estos metales poseen características tóxicas que se pueden analizar de diferentes puntos de vistas como: toxicidad a largo plazo, transformación a formas más tóxicas bajo ciertas condiciones, biomagnificación a través de la cadena alimenticia, muy baja degradación y, su toxicidad a bajas concentraciones (Cuizano and Navarro 2008).

Entre las empresas más contaminantes puede citarse a la industria minera debido a que la cantidad que utilizan de contaminantes ambientales es mayor al mineral extraído, por ejemplo la Minería Aurífera en Madre de Dios utiliza 2.8 kg de mercurio para extraer 1 kg de oro (Álvarez et al. 2011) y la Minería Marcapunta utiliza ácido sulfúrico para extraer mineral de cobre.

Los diferentes metales que se pueden encontrar en los efluentes mineros van a variar en presencia y concentración dependiendo de la extracción, por ejemplo, la Minería Aurífera en Madre de Dios extrae oro y genera efluentes con altas concentraciones en Mercurio (Álvarez et al. 2011) y la Minería Marcapunta Oeste extrae cobre y genera efluentes con altas concentraciones en Zinc, Cobre y Plomo (Pinillos Torres, 2013). En su mayoría, las mineras generan efluentes con Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo, Cromo, Cobalto y Zinc (Caviedes Rubio et al. 2015).

Sin embargo, en los últimos años han aparecido nuevas tecnologías para combatir este tipo de contaminación, tales como; precipitación química, intercambio iónico, coagulación-floculación, flotación, filtración por membrana, tratamiento electroquímico y la adsorción algal (O'Connell, Birkinshaw, and O'Dwyer 2008).

Tabla 1
Ventajas y desventajas de los métodos convencionales de remoción de metales de sistemas acuosos

Tecnología	Ventajas	Desventajas
Precipitación química	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso simple. • No hay selectividad de metales. • Bajo costo de capital. 	<ul style="list-style-type: none"> • Generación de gran cantidad lodos. • Costo de disposición de lodos. • Alto costo de mantenimiento.
Intercambio Iónico	<ul style="list-style-type: none"> • Selectividad de metales. • Alta regeneración del material. • Tolerancia a pH limitada. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de capital. • Alto costo de mantenimiento.
Coagulación-Floculación	<ul style="list-style-type: none"> • Buena sedimentación de lodos. • Capacidad de inactivación bacteriana. 	<ul style="list-style-type: none"> • Gran consumo de químicos. • Generación de gran cantidad de lodos.
Flotación	<ul style="list-style-type: none"> • Selectividad de metales. • Bajo tiempo de retención. • Eliminación de pequeñas partículas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de capital. • Alto costo de mantenimiento y operación.
Filtración por membrana	<ul style="list-style-type: none"> • Baja generación de residuos sólidos. • Bajo consumo de químicos. • Pequeño espacio requerido. • Posiblemente el metal puede ser selectivo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de capital. • Alto costo de mantenimiento y operación. • Membranas sucias.
Tratamiento electroquímico	<ul style="list-style-type: none"> • Alta selectividad de metales. • No hay consumo de químicos • La recuperación de metales puro es posible. 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto costo de capital. • Alto costo de mantenimiento y operación.

Fuente: O'Connell et al. 2008

Entre ellos, el uso de biomasa algal proporciona una serie de ventajas en el procesos de adsorción ya que estos no están gobernados por limitaciones biológicas, poseen bajo costo económico y una alta capacidad de remoción de los metales

(Cuizano and Navarro 2008; Iván Alberto 2014) ya que, a diferencia del uso de las células vivas, estas no pueden ser envenenadas e inactivadas por la toxicidad del medio acuoso (Cañizares Villanueva 2000).

Tabla 2

Comparación de la adsorción de metales pesados por biomasa inerte y células vivas inmovilizadas

Adsorción por biomasa inerte inmovilizada	Incorporación por células vivas inmovilizadas
	Ventajas
<p>Independiente del crecimiento, biomasa muerta, no sujeto a las limitaciones de toxicidad. No necesita de nutrientes en la solución de alimentación, de disposición de nutrientes, ni productos metabólicos.</p> <p>Los procesos no están gobernados por limitaciones biológicas</p> <p>. La selección de la técnica de inmovilización no está gobernada por limitaciones de toxicidad o inactivación térmica.</p> <p>Son muy rápidos y eficientes en la remoción de metales; la biomasa se comporta como un intercambiador de iones. Los metales pueden ser liberados fácilmente y recuperados</p>	<p>Aunque cada célula puede llegar a saturarse, el sistema se auto-restablece debido al crecimiento.</p> <p>Los metales se depositan en un estado químico alterado y menos sensible a la desorción espontánea.</p> <p>La actividad metabólica puede ser la única forma económica de lograr cambios en estado de valencia o degradar compuestos organometálicos; se pueden utilizar sistemas multienzimáticos.</p> <p>Se pueden mejorar las cepas por medio del aislamiento de mutantes o la manipulación genética, debido a que ésta es una propiedad microbiana más que un producto bajo explotación</p> <p>Se pueden emplear dos o más organismos de una manera sinérgica.</p>
	Desventajas
<p>.Rápida saturación: cuando los sitios de interacción con el metal están ocupados, es necesario remover el metal antes de utilizarse nuevamente, sin importar su valor</p> <p>El secuestro por adsorción es sensible al pH.</p> <p>El estado de valencia del metal no puede ser alterado biológicamente, para dar formas menos solubles.</p> <p>Las especies organometálicas no son susceptibles de degradación</p> <p>El mejoramiento de estos procesos biológicos es limitado ya que las células no efectúan un metabolismo; la producción de agentes adsorbentes ocurre durante la etapa de pre- crecimiento.</p>	<p>La toxicidad; sólo se pueden tratar los metales a bajas concentraciones, sin embargo se han utilizado cepas resistentes a los metales</p> <p>Es necesario alimentar los flujos bajo condiciones fisiológicamente permisibles.</p> <p>Se necesitan nutrientes para el crecimiento.</p> <p>La disposición de los productos metabólicos y los nutrientes del crecimiento no consumidos.</p> <p>Los productos metabólicos pueden formar complejos con los metales, impidiendo la precipitación.</p> <p>La recuperación de los metales por desorción es limitada, debido a que pueden formar uniones intracelulares.</p> <p>El modelamiento de un sistema no definido representa gran- des dificultades matemáticas.</p>

Fuentes: Cañizares Villanueva 2000

Proceso de Adsorción de metales pesados

La adsorción algal se caracteriza por la retención de metales mediante una interacción fisicoquímica de estos con los ligandos que se encuentran en la superficie celular (Cañizares Villanueva 2000; Cuizano and Navarro 2008; Lara 2008; Tejada tovar, Villabona Ortiz, and Garcés Jaraba 2015) siendo de 3-5 nm de diámetro permitiendo así la entrada de compuestos moleculares, especialmente los iones metálicos con mayor electronegatividad y menor radio (Jbari 2012), dependiendo del tipo de material biológico empleado (Plaza Cazón 2012). Para que este proceso ocurra tiene que existir una masa sólida (biomasa) y una fase líquida (medio acuoso) con los iones metálicos a extraer.

Centro de adsorción de las algas marinas

La adsorción algal se debe a la presencia de dos grupos funcionales con elevada densidad electrónica; los alginatos y los fucoidanos (Cuizano and Navarro 2008).

Alginatos

Es el mayor responsable de la adsorción, es un polisacárido lineal compuesto por unidades de ácido 1,4 β -D manurónico (M) y α -L gulurónico (G) dispuestos de una manera irregular coexistiendo las secuencias MM, GM, MG y GG, gracias a esto se forman cadenas llamados “egg box” donde los cationes divalentes se quedan “atrapados” dentro de la estructura, cabe recalcar que los centros activos más accesibles se encuentra en la secuencia GG (Cuizano and Navarro 2008).

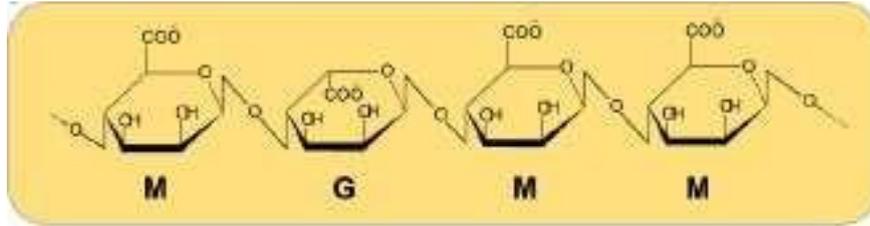


Figura 1. Secuencia de polímero de alginato.

Fuente: (Arlas, Castro, and Eceiza 2014)

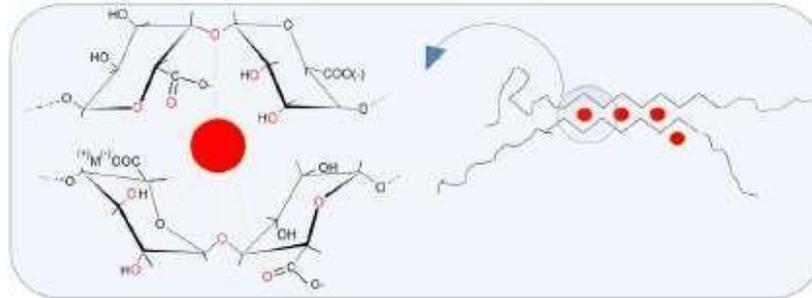


Figura 2. Egg Box.

Fuente: (Arlas et al. 2014)

Fucoidanos

También son polisacáridos con capacidad de adsorción relativamente baja, su efectividad se manifiesta en pHs bajos mediante la desprotonación de sus grupos ácidos, es una herramienta frente a condiciones extremas de las aguas residuales, aunque cabe recalcar que a esas condiciones los alginatos no tendrán el mismo efecto (Cuizano and Navarro 2008).

Principales factores en el proceso de la biosorción

Tiempo de equilibrio

Dentro del tratamiento existirá un tiempo en el cual la biomasa algal se saturará y no podrá seguir capturar los metales, es por eso que se deben establecer el equilibrio entre el tiempo y la adsorción del contaminante (Lara 2008).

Influencia de la temperatura

El aumento de la temperatura puede resultar el cambio en la textura del solvente y el deterioro del material desembocando una pérdida de la capacidad de adsorción (Tejada tovar et al. 2015), también la temperatura será esencial con la termodinámica del proceso; cuando el calor de adsorción es negativo, la reacción es exotérmica y se favorece a baja, por el contrario, cuando el calor de adsorción es positivo, el proceso es endotérmico y se ve favorecido por altas temperaturas (Lara 2008).

Influencia del pH

El pH es un parámetro importante que controla la adsorción de los metales en diferentes adsorbente, un valor de pH igual o mayor a 4.5 favorece la adsorción de cationes mientras que un valor entre 1.5 y 4 favorece la adsorción de los aniones (Tejada tovar et al. 2015), también afecta el estado químico del sitio activo y valores extremos podrían dañar la estructura del material (Lara 2008).

Influencia de otros iones

La presencia de otros iones en la disolución hace que puedan competir con otros metales de interés (Tejada tovar et al. 2015)

ya que algunos metales tiene mayor afinidad por el material biosorbente que otros, ya sea por su radio iónico, carga eléctrica y/o potencia iónico (Lara 2008).

Influencia del pretratamiento del biosorbente

Sin un pretratamiento del biosorbente no se podría obtener la máxima eficiencia ya que sin el tratamiento físico; moliendo, tamizado y lavado, no se podría obtener un tamaño adecuado y sin el tratamiento químico; lavado químico, no se podría eliminar los iones ya existentes en el material (Lara 2008).

Tipos de algas marinas y aplicación

Microalgas

Son organismos unicelulares eucariotas fotosintéticas de 2 a 200 μm que crecen de modo autotrófico o heterotrófico siendo así productoras primarias de la cadena trófica (Cajamar 2015), pueden ser utilizadas como biofertilizantes o biocombustibles, alimento para animales o humanos, también poseen la capacidad de reducir la Demanda Biológica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), sólidos suspendidos, coliformes y los metales disueltos en las aguas residuales sin embargo su cultivo es complejo y costoso (Hernández Pérez and I. Labbé 2014).

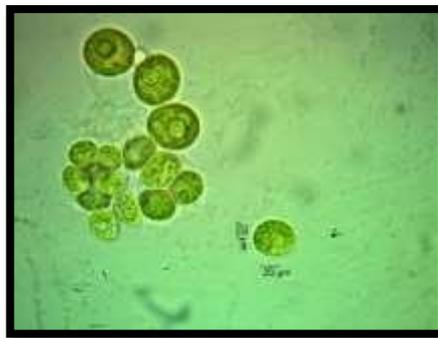


Figura 3. Conjunto de Microalgas con tamaño aproximado de 20 μm

Valle Ramírez del Arellano (2007) en su investigación titulada “Utilización de microalgas para la remoción de cadmio y zinc de efluentes de agua residuales urbanas” utilizó las microalgas *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus* y *Synechococcus sp* para remover Cadmio y Zinc de efluentes de aguas residuales urbanas, obtuvo como resultado que la microalga *Synechococcus sp* posee una buena capacidad de remoción de metales y puede ser utilizada en la biorremediación de estos metales.

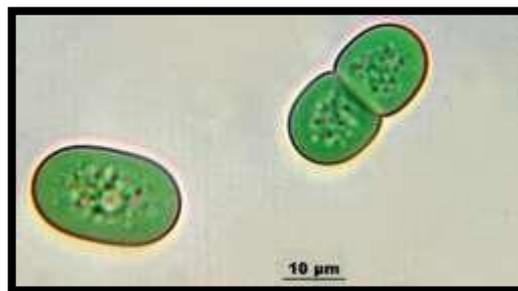


Figura 4. Microalga *Synechococcus sp.* de 10 μm en plena fisión binaria

Pellón et al. (2005) en su investigación titulada “Eliminación de cromo y cadmio mediante *Scenedesmus obliquus* en estado inmovilizado” utilizó la microalga *Scenedesmus obliquus* para remover Cromo y Cadmio de aguas residuales de industrias galvanoplásticas, obtuvo como resultado la eliminación del 92,40% para el Cr(III) y del 95 % para el Cd(II).



Figura 5. Microalga *Scenedesmus obliquus*

Pérez Silva et al. (2017) en su investigación titulada “Uso de *Scenedesmus* para la remoción de metales pesados y nutrientes de aguas residuales de la industria textil” utilizó la microalga *Scenedesmus* sp. para remover Aluminio, Cromo, Nitratos Y Nitritos de aguas residuales de una industria textil, obtuvo como resultado la eliminación del 88,8% para el Aluminio, 85,21% para el Cromo, 99,81% para los Nitratos y 99,81% para los Nitritos.



Figura 6. Microalga *Scenedesmus* sp.

Macroalgas

Son organismos autótrofos con estructura simple de tamaño macroscópico, según su taxonomía se puede clasificar en tres grandes grupos; Chlorophyta o clorofitas, Phaeophyta o feófitas y Rhodophyta o rodófitas, que corresponden a algas verdes, pardas y rojas respectivamente (Quitral R. et al. 2012), aunque se puede emplear para el uso de adsorción de metales en sistemas acuosos (Iván Alberto 2014), no es recomendado el uso de organismos vivos para el tratamiento continuo de contaminantes altamente tóxicos con concentraciones altas o un largo periodo de tiempo del tratamiento ya que, al ser organismos vivos, estas pueden morir por lo tanto se debe emplear biomasa muerta para la continuación del tratamiento (Plaza Cazón 2012), por ende, la bioadsorción permite reutilizar los desechos agrícolas como principal fuente removible de metales pesados (Tejada tovar et al. 2015) y también la biomasa algal, considerada material de desecho de producción a grandes cantidades de forma natural por esta razón son económicamente rentable ya que se utiliza “desechos” para la eliminación de “desechos” (Cuizano and Navarro 2008).



Figura 7. Variedades de macroalgas marinas

Basso, Cerrella, and Cukierman (2002) en su investigación titulada “Empleo de algas marinas para la biosorción de metales pesados de aguas contaminadas” utilizó las macroalgas *Corallina officinalis* L., *Porphyra columbina*, y *Codium fragile* para remover Cadmio de soluciones preparadas, obtuvo como resultado que las dos primeras algas resultan más efectivas en la remoción de Cadmio que el carbon activado comercial.



Figura 8. Macroalga *Corallina Officinails* L.

Mónica (2012) en su investigación titulada “Factibilidad del uso de un sistema de flujo continuo para la remoción de iones de cadmio y cobre de soluciones acuosas utilizando el alga *Sargassum Sinicola*” utilizó la macroalga *Sargassum Sinicola* para remover Cadmio y Cobre de soluciones preparadas, obtuvo como resultado que la macroalga presenta una capacidad de remoción similar a otras especies del género y mayor que el carbón activado y la zeolita natural.



Figura 9. Macroalga *Sargassum Sinicola*

Comparación de remoción de metales entre las macroalgas con otros bioadsorbentes

Tabla 3

Comparación de remoción de diferentes bioadsorbentes con diferentes metales

Bioadsorbente	Metal	Capacidad máxima de adsorción (q_{max}) según el modelo de Langmuir en mmol/g	Referencia
Algas rojas	Pb	1,527	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Algas rojas	Cd	0,392	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)

Algas rojas	Zn	2,539	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Cáscara de naranja	Pb	1,665	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Cáscara de naranja	Cd	0,404	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Cáscara de naranja	Zn	3,069	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Tuna	Pb	1,448	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Tuna	Cd	0,407	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Tuna	Zn	3,212	(Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015)
Polímero Gellan Levadura	Co	4.184	(Cheng et al. 2019a)
Levadura Saccharomyces cerevisiae	Co	0.4714	(Cheng et al. 2019b)
Arcilla Kaolinita	Co	0.1178	(Mathieu and Zajac 1990)
Macrosytis pyrifera	Co	4.7735	(Rabanal Atalaya 2006)
Sargassum filipéndula (brown algae)	Zn	4.4458	(Luna et al. 2010)
Sargassum filipéndula (brown algae)	Cd	11.5783	(Luna et al. 2010)
Gymnogongrus torulosus	Zn	4.4458	(Areco and Dos Santos Afonso 2010)
Gymnogongrus torulosus	Cd	7.4191	(Areco and Dos Santos Afonso 2010)
Lessonia nigrescens	Cd	11.1286	(Boschi et al. 2011)
Lessonia trabeculata	Cd	16.5244	(Boschi et al. 2011)
Calcium-treated Macrocytis pyrifera (brown algae)	Zn	7.5315	(Plaza Cazón et al. 2012)
Calcium-treated Macrocytis pyrifera (brown algae)	Cd	9.7797	(Plaza Cazón et al. 2012)
Macrocytis pyrifera	Hg	2.2064	(Plaza Cazón 2012)
Macrocytis pyrifera	Zn	2.4844	(Plaza Cazón 2012)
Macrocytis pyrifera	Cd	2.2482	(Plaza Cazón 2012)
Undaria Pinnatifida	Cd	2.0233	(Plaza Cazón 2012)
Macrocytis pyrifera	Ni	1.1738	(Plaza Cazón 2012)
Undaria Pinnatifida	Ni	1.2912	(Plaza Cazón 2012)
Macrocytis pyrifera	Cr	4.0556	(Plaza Cazón 2012)

Undaria Pinnatifida	Cr	3.4837	(Plaza Cazón 2012)
Chlorella vulgaris	Au	10.0	(Chuquilín Goicochea 2015)
Chlorella vulgaris	Ag	57.0	(Deschatre et al. 2013)

En la tabla 3 se muestra la comparación de remoción de diferentes bioadsorbentes con diferentes metales. la que posee mayor capacidad máxima de adsorción es *Lessonia Trabeculata* (macro alga) con 16.5244 mg/g para Cadmio, respecto a las algas *Macrocystus Pryrifery* y *Lessonia Nigrescens*, su mayor capacidad de adsorción es de 4.7735 y 11.1286 mg/g en Cobalto y Cadmio respectivamente.

Capacidad de adsorción de las macroalgas *Macrocystis Pyrifera Bory* y *Lessonia Nigrescens Bory*

Macrocystis Pyrifera Bory

Esta alga puede llegar a medir 30 m de longitud, habita en aguas frías con temperatura de 15°C o inferiores y viven fijas sobre fondos rocosos entre 6 y 20 m de profundidad (Plaza Cazón 2012), su nombre común es Sargazo Gigante o Aracanto Negro, es una especie abundante y, en el Perú, se distribuyen desde la Libertad hasta Tacna (Rodríguez et al. 2018).



Figura 10. Macroalga *Macrocystis Pyrifera Bory*

Aplicación de *Macrocystis Pyrifery Bory*

Tabla 4

Comparación de los diferentes estudios de remoción de metales con la macroalga *Macrocystis Pyrifery Bory*.

Metales Removidos	Masa del adsorbente (g)	Cantidad de medio acuoso (mL)	pH	% de remoción	Modelo Langmuir		Referencia
					Capacidad máxima de adsorción (q _{max}) en mmol/g	Coefficiente relativo de afinidad (b) en L/mmol	
Cromo	0.1	250	4		0.77	1.2	(Cazón et al. 2012)

Zinc	0.1	100	4		0.67	2.4	(Plaza Cazón et al. 2012)
Cadmio	0.1	100	3		0.87	1.26	(Plaza Cazón et al. 2012)
Zinc	0.2	100	4		0.56	12.71	(Plaza et al. 2009)
Cadmio	0.2	100	3		0.66	1.9	(Plaza et al. 2009)
Plomo	8	250	5 · 5	\geq 97%			(Inca Vega, Otazu Luna, and Ríos Sevillan o 2018)
Mercurio	8	250	5 · 5	\geq 91%			(Inca Vega et al. 2018)
Niquel	0.3	300	5		0.8	4.4	(Plaza et al. 2011)
Cobalto	0.3	100	5		0.75	0.6	(Rabana l Atalaya 2006)
Cadmio	12	250	4 · 4	99%			(Salazar Castillo 2012)
Plomo	0.5	300	3 · 4		0.35		(Seki and Suzuki 1998)
Cadmio	0.5	300	4 · 6		0.7		(Seki and Suzuki 1998)
Plomo	0.01	100	4		3.52	16.56	(Cuizano, Llanos, and Navarro 2009)
Mercurio	0.4	100	4		0.82	2.7	(Plaza Cazón 2012)
Zinc	0.4	100	4		0.67	2.4	(Plaza Cazón 2012)

Cadmio	0.4	100	4	0.87	1.25	(Plaza Cazón 2012)
Niquel	0.4	100	4	0.69	1.48	(Plaza Cazón 2012)
Cromo	0.4	100	4	0.77	1.56	(Plaza Cazón 2012)

De la tabla 4, las investigaciones dan como resultado que la Macroalga *Macrocystis Pyrifery Bory* remueve Cromo, Zinc, Cadmio, Plomo, Mercurio, Niquel y Cobalto a diferentes proporciones, normalmente se trabaja con pequeñas cantidades de biomasa algal para diferentes cantidades de medio acuoso, la relación puede ir desde 1g a 10000mL (Cuizano et al. 2009) hasta 480g a 10000mL (Salazar Castillo 2012). Respecto al pH, este oscila entre 4 a 5.5 con la excepción del trabajo de Seki and Suzuki 1998, ya que ellos trabajaron con un pH de 3.4 para Cadmio. La remoción del Plomo y Mercurio, en 8g de masa absorbente y 250mL de medio acuoso, es de 97 y 94% respectivamente (Inca Vega et al. 2018) y de Cadmio, en 12g de masas absorbente y 250mL de medio acuoso, es de 99% (Salazar Castillo 2012). Por el modelo de Langmuir el Plomo a 0.01g en 100mL con 4 pH posee la mayor capacidad de adsorción siendo 3.52 mmol/g (Cuizano et al. 2009) y la menor el Plomo a 0.5g en 300mL con 3.4 pH siendo 0.35 mmol/g (Seki and Suzuki 1998), ambos son el mismo mineral a diferentes condiciones, esto demuestra que toda actividad previa, factores internos y/o externos como el lugar de origen de las algas, el pretratamiento de estas, la temperatura, la relación entre el medio acuoso y la cantidad de absorbente, etc, alteran los resultados. Por último, en el coeficiente relativo de afinidad, se observa que el Plomo a 0.06g en 100mL con 4 pH posee mayor afinidad al sorbente con 103.5 L/mmol (Cuizano et al. 2009), en cambio, el Cobalto a 0.3g en 100mL con 5 pH posee la menor afinidad con 0.6 L/mmol (Rabanal Atalaya 2006).

Lessonia Nigrescens Bory

Es una de las algas laminare en el Perú (Lessonia et al. 2019) puede llegar a una tamaño de 4 metros de longitud y de la base mide 1.5 – 3cm de diámetro, cuenta con láminas lisas y comúnmente llamado “Aracanto negro”(Acleto and Villoquita y Santelices 1826) habitan en zonas intermareales bajos y lugares rocosos(Alonso Vega 2016), se encuentran ubicados en el litoral de Ilo, Moquegua (Lessonia and Gamarra 2019).



Figura 11. Macroalga Lessonia Nigrescens Bory

Tabla 5

Comparación de los diferentes estudios de remoción de metales con la macroalga *Lessonia Nigrescens* Bory

Metales Removidos	Masa del absorbente (g)	Cantidad de medio acuoso (mL)	pH	Modelo Langmuir		Referencia
				Capacidad máxima de adsorción (qmax) mg/g	Coefficiente relativo de afinidad (b) en L/mg	
Cadmio	1	1000	6	107.4	1.04	(Boschi et al. 2011)
Plomo	0.01	100	4	892.9	0.13	(Cuizano et al. 2009)
Plomo	0.04	100	4	337.8	0.46	(Cuizano et al. 2009)
Arsénico	2	500	2.5	45.2	0.0133	(Hansen, Ribeiro, and Mateus 2006)
Arsénico	2	500	6.5	28.2	0.0144	(Hansen et al. 2006)
Cadmio	1.5	250	3.7	115.3	0.0087	(Gutiérrez et al. 2015)
Cobre	1	100	5	60.4	0.0141	(Cid et al. 2018)
Cobre	0.02	100	6	66.62	0.202	(Reyes, Navarro, and Llanos 2009)
Mercurio	1	100	6	321.2	0.34	(Plaza et al. 2011)

De la tabla 5, las investigaciones dan como resultado que la *Lessonia Nigrescens* Bory remueve Cadmio, Plomo, Arsénico, Cobre y Mercurio a diferentes proporciones, normalmente se trabaja con pequeñas cantidades de biomasa algal para diferentes cantidades de medio acuoso, la relación puede ir desde 1g a 10000mL (Cuizano et al. 2009) hasta 40g a 10000mL (Hansen et al. 2006). Respecto al pH, este oscila entre 3.7 a 6 con la excepción del trabajo de (Hansen et al. 2006), ya que ellos trabajaron con un pH de 2.5 para Arsénico. Por el modelo de Langmuir el Plomo a 0.01g en 100mL con 4 pH posee la mayor capacidad de adsorción siendo 892.9 mg/g (Cuizano et al. 2009) y la menor el Cobre a 1g en 100mL con 5 pH siendo 60.4 mg/g (Cid et al. 2018). Por último, en el coeficiente relativo de afinidad, se observa que el Cadmio a 1g en 1000 mL con 6 pH posee mayor afinidad al sorbente con 1.04 L/mg (Boschi et al. 2011), en cambio, el Cadmio a 1.5g en 250mL con 3.7 pH posee la menor afinidad con 0.0087 L/mg (Gutiérrez et al. 2015), ambos son el mismo mineral a diferentes condiciones, esto demuestra que toda actividad previa, factores internos y/o externos como el lugar de origen de las algas, el pretratamiento de estas, la temperatura, la relación entre el medio acuoso y la cantidad de absorbente, etc, alteran los resultados.

Proceso del tratamiento de las algas en el afluyente minero

El tratamiento de las aguas residuales es el uso de procesos físicos, químicos y biológicos con la finalidad de depurar los efluentes volviéndolos no dañinos (SPENA 2010), este proceso demanda gran número de operaciones, por tal motivo, existen niveles de tratamientos para lograr tal fin (SINIA 2006).

Se inicia con el pre-tratamiento, este acondiciona el agua reteniendo los sólidos gruesos para facilitar el tratamiento posterior; sigue el tratamiento primario o tratamiento físico y/o químico que tiene como objetivo remover material sobrante en suspensión por medio de la precipitación, sedimentación u oxidación química; luego pasa al tratamiento secundario al utilizar procesos biológicos para eliminar la contaminación orgánica disuelta y por último el tratamiento terciario o avanzado, este se considera dependiendo de la disposición final de las aguas tratadas y tiene como finalidad mejorar las características finales del agua para uso de actividades agrícolas o industrial (AGUASISTEC 2018; SINIA 2006).

La figura 12 es un esquema de cómo se podría tratar los efluentes mineros, se inicia con el pre-tratamiento usando cribas para retener los sólidos gruesos, luego se utilizaría un desengrasado para reducir la grasa del efluente. Iniciando el tratamiento primario se añadiría la biomasa algal en proporción al volumen del agua residual, luego se haría una mezcla con el tiempo óptimo y pasaría al decantador para sedimentarla. Por último pasaría al tratamiento secundario, ahí utilizaría a un proceso biológico necesario para ajustar las características requeridas en algún uso en especial.

Volviendo al decantador, la biomasa algal sedimentada se volvería un residuo peligroso (Vizcaíno Mendoza and Fuentes Molina 2015), esta podría ser tratada para su reutilización o ser dispuestos en un relleno de seguridad.



Figura 12. Esquema de una depuradora de aguas residuales

Conclusiones

En su mayoría, las mineras generan efluentes con Arsénico, Cadmio, Cobre, Níquel, Plomo, Cromo, Cobalto y Zinc (Caviedes Rubio et al. 2015) y en las investigaciones, las macroalgas *Macrocystis Pyrifera* Bory y *Lessonia Nigrescens* Bory remueven estos minerales, por lo tanto, la aplicaciones de estas en los residuos líquidos mineros podrían remediarlos, sin embargo, es muy probable que su comportamiento respecto a su capacidad de remoción sea diferente a los estudios realizados ya que, en esos análisis, los medios acuosos poseían un solo contaminante y por ello su afinidad no fue alterada por la ausencia de interacción con otros metales. Plaza Cazón (2012) en su investigación titulada "Remoción de metales pesados empleando algas marinas" estableció el siguiente orden de afinidad: $Hg(II) > Zn(II) > Cr(III) > Ni(II) > Cd(II)$ para *M. pyrifera*.

La proporción entre biomasa algal y el medio acuoso es bajo ya que, si se sobrepasa mucho la cantidad de adsorbente, estos saturan la remoción de los contaminantes y trae como consecuencia la caída de su eficiencia.

El pH juega un papel importante en la remediación de los metales, las investigaciones señalan que el pH óptimo para una mayor eficacia es de entre 4 a 6. Los efluentes mineros poseen un pH de entre 2 a 6 siendo aguas ácidas y proporcionando condiciones adecuada para el uso de las algas como remedidor.

Toda actividad previa, factores internos y/o externos como el lugar de origen de las algas, el pretratamiento de estas, la temperatura, la relación entre el medio acuoso y la cantidad de adsorbente, etc, alteran los resultados. Entre ellas, el más importante es el tratamiento previo que se da a la biomasa ya que de esta forma se controlaría los factores que alteran el proceso de biosorción como la presencia de otros iones ya que, al removerlos de las algas, estas obtienen una mayor eficiencia de remoción para el tratamiento.

La aplicación de la biomasa algal sería en el tratamiento primario ya que es una interacción fisicoquímica de los metales con los ligandos (Cañizares Villanueva 2000; Cuizano and Navarro 2008; Lara 2008; Tejada tovar et al. 2015) dando como resultado la remoción de los materiales en suspensión (AGUASISTEC 2018; SINIA 2006).

Bibliografía

- Acleto and Villoquita y Santelices. 1826. "Lessonia Nigrescens Bory 1826." *Imarpe* 1.
- Aguasistec. 2018. "Planta de Tratamiento de Aguas Residuales - PTAR." Retrieved (<http://www.aguasistec.com/planta-de-tratamiento-de-aguas-residuales.php>).
- Alonso Vega, J. M. 2016. "Fauna Asociada a Discos de Adhesión Del Complejo Lessonia Nigrescens. ¿Es Un Indicador de Integridad Ecológica En Praderas Explotadas de Huiro Negro, En El Norte de Chile?" *Latin American Journal of Aquatic Research* 44(3):623–37.
- Álvarez, José, Víctor Sotero, Antonio Brack Egg, and César A. Ipenza Peralta. 2011. *Minería Aurífera En Madre de Dios y Contaminación Con Mercurio: Una Bomba de Tiempo. Informe Preparado or El Instituto de La Amazonía Peruana y El Ministerio Del Ambiente.*
- Areco, María Mar and María Dos Santos Afonso. 2010. "Copper, Zinc, Cadmium and Lead Biosorption by *Gymnogongrus Torulosus*. Thermodynamics and Kinetics Studies." *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 81(2):620–28.
- Arlas, Borja, Cristian Castro, and Arantxa Eceiza. 2014. "Obtención de Fibras de Alginato Mediante Hilado Por Coagulación Con Sulfatos de Metales Multivalentes." *Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales* 35(2):189–200.
- Basso, M. C., E. G. Cerrella, and A. L. Cukierman. 2002. "Empleo de Algas Marinas Para La Biosorción de Metales Pesados de Aguas Contaminadas." *Avances En Energías Renovables y Medio Ambiente* 6(1):69–74.
- Boschi, Carmen, Holger Maldonado, Martha Ly, and Eric Guibal. 2011. "Cd(II) Biosorption Using Lessonia Kelps." *Journal of Colloid and Interface Science* 357(2):487–96.
- Cajamar, Grupo Cooperativo. 2015. "¿qué Son Las Microalgas? Interés y Uso." *ADN Agro*, 1–11.
- Cañizares Villanueva, Rosa Olivia. 2000. "Biosorción de Metales Pesados Mediante El Uso de Biomasa Microbiana." *Revista Latinoamericana de Microbiología* 131–43.
- Caviedes Rubio, Diego Ivan, Ramiro Adolfo Muñoz Calderón, Alexandra Perdomo Gualtero, Daniel Rodríguez Acosta, and Ivan Javier Sandoval Rojas. 2015. "Tratamientos Para La Remoción de Metales Pesados Comúnmente Presentes En Aguas Residuales Industriales." *Revista Ingeniería y Región* 13(1):73–90.
- Cazón, Josefina Plaza H., Leonardo Benítez, Edgardo Donati, and Marisa Viera. 2012. "Biosorption of Chromium(III) by Two Brown Algae *Macrocystis Pyrifera* and *Undaria Pinnatifida*: Equilibrium and Kinetic Study." *Engineering in Life Sciences* 12(1):95–103.
- Cheng, Sze Yin, Pau Loke Show, Beng Fye Lau, Jo Shu Chang, and Tau Chuan Ling. 2019a. "New Prospects for Modified Algae in Heavy Metal Adsorption." *Trends in Biotechnology* xx:1–14.
- Cheng, Sze Yin, Pau Loke Show, Beng Fye Lau, Jo Shu Chang, and Tau Chuan Ling. 2019b. "New Prospects for Modified Algae in Heavy Metal Adsorption." *Trends in Biotechnology* 1–14.
- Chuquilín Goicochea, Roberto Carlos. 2015. "Estudio de La Biosorción de Cd (II) y Pb (II), Usando Como Adsorbente El Nostoc (Nostoc Sp.)."
- Cid, Héctor A., Marcos I. Flores, Jaime F. Pizarro, Ximena A. Castillo, Daniel E. Barros, Juan C. Moreno-Piraján, and Claudia A. Ortiz. 2018. "Mechanisms of Cu²⁺ Biosorption on Lessonia Nigrescens Dead Biomass: Functional Groups Interactions and Morphological Characterization." *Journal of Environmental Chemical Engineering* 6(2):2696–2704.
- Cuizano, Norma A., Bertha P. Llanos, and Abel E. Navarro. 2009. "Application of Marine Seaweeds As Lead (II) Biosorbents: Analysis of the Equilibrium State." *Revista de La Sociedad Química Del Perú* 75(1):33–43.
- Cuizano, Norma and Abel E. Navarro. 2008. "Biosorción de Metales Pesados Por Algas Marinas : Posible Solución a La Contaminación a Bajas Concentraciones." *Real Sociedad Española de Química* (December 2013):119–25.
- Deschatre, M., F. Ghillebaert, J. Guezennec, and C. Simon Colin. 2013. "Applied Biochemistry and Biotechnology Sorption of Copper(II) and Silver(I) by Four Bacterial Exopolysaccharides." *171(6):1313–27.*
- Group, En Spena and El Decreto Supremo. 2010. "Tratamiento de Aguas Residuales En Minería." 3–6.
- Gutiérrez, Claudia, Henrik K. Hansen, Pirooska Hernández, and Carolina Pinilla. 2015. "Biosorption of Cadmium with Brown Macroalgae." *Chemosphere* 138:164–69.
- Hansen, Henrik K., Alexandra Ribeiro, and Eduardo Mateus. 2006. "Biosorption of Arsenic(V) with

- Lessonia Nigrescens.” *Minerals Engineering* 19(5):486–90.
- Hernández Pérez, Alexis and José I. Labbé. 2014. “Microalgas, Cultivo y Beneficios.” *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 49:157–73.
- Inca Vega, Diego Josué, Octavio Otazu Luna, and Laura Julia Ríos Sevillano. 2018. “Influencia Del PH y Tamaño de Partícula En La Adsorción de Mercurio y Plomo En Una Solución Acuosa, Utilizando Macrocytis Piryfera.” Universidad César Vallejo.
- Iván Alberto, Reyes López. 2014. “Adsorción de Cobre, Hierro y Mercurio Empleando Chondracanthus Chamosoi.” *Universidad Nacional de Trujillo*.
- Jbari, Nohaman. 2012. “Utilización Secuencial de Microalgas Icroalgas En Depuración y Adsorción de Cr (VI).” *Universidad de Granada (Vi)*.
- Lara, Angeles Martin. 2008. *Caracterización y Aplicación de Biomasa Residual a La Eliminación de Metales Pesados*.
- Lessonia, Crecimiento D. E., E. N. El, Litoral Rocos, and Marco Quiroz. 2019. “Enero - Marzo 2019 Callao , Perú.”
- Lessonia, Recurso and Alex Gamarra. 2019. “Enero - Marzo 2019 Callao , Perú.”
- Luna, Aderval S., André L. H. Costa, Antonio Carlos A. da Costa, and Cristiane A. Henriques. 2010. “Competitive Biosorption of Cadmium(II) and Zinc(II) Ions from Binary Systems by Sargassum Filipendula.” *Bioresource Technology* 101(14):5104–11.
- Mathieu, John E. and Dennis M. Zajac. 1990. “Mathieu-Zajac-Oc-Metaanalyse-0360.Pdf.” 108(2):171–94.
- Mónica, Patrón Prado. 2012. “Factibilidad Del Uso de Un Sistema de Flujo Continuo Para La Remoción de Iones de Cadmio y Cobre de Soluciones Acuosas Utilizando El Alga Sargassum Sinicola.” *Centro de Investigación Biológica de Noroeste, S.C.*
- O’Connell, David William, Colin Birkinshaw, and Thomas Francis O’Dwyer. 2008. “Heavy Metal Adsorbents Prepared from the Modification of Cellulose : A Review.” *Bioresource Technology* 99:6709–24.
- Pellón, Alexis, Julio Frades, Anaelsis Chacón, Elsa Pérez, Antonio Oña, María del Carmen Espi - nosa, Caridad Ramos Alvarino, Rogelio Mayari, and Rigoberto Escobedo. 2005. “Eliminación de Cromo y Cadmio Mediante Scenedesmus Obliquus En Estado Inmovilizado.” *Revista CENIC Ciencias Químicas* 36(3):1–4.
- Pérez Silva, Karen Rocío, Asly Michell Vega Bolaños, Luisa Carolina Hernández Rodríguez, David Alejandro Parra Ospina, and Miguel Ángel Ballen Segura. 2017. “Uso de Scenedesmus Para La Remoción de Metales Pesados y Nutrientes de Aguas Residuales de La Industria Textil.” *Universidad Sergio Arboleda* (June).
- Plaza Cazón, J., C. Bernardelli, M. Viera, E. Donati, and E. Guibal. 2012. “Zinc and Cadmium Biosorption by Untreated and Calcium-Treated Macrocytis Piryfera in a Batch System.” *Bioresource Technology* 116:195–203.
- Plaza Cazón, Josefina. 2012. “Remoción de Metales Pesados Empleando Algas Marinas.” *Universidad Nacional de La Plata*.
- Plaza, J., E. Guibal, J. M. Taulemesse, M. Viera, and E. Donati. 2009. “Cadmium and Zinc Biosorption by Macrocytis Piryfera: Changes in the Biomass.” *Advanced Materials Research* 71–73(May):601–4.
- Plaza, Josefina, Marisa Viera, Edgardo Donati, and Eric Guibal. 2011. “Biosorption of Mercury by Macrocytis Piryfera and Undaria Pinnatifida: Influence of Zinc, Cadmium and Nickel.” *Journal of Environmental Sciences* 23(11):1778–86.
- Quitral R., Vilma, Carla Morales G., Marcela Sepúlveda L., and Marco Schawartz M. 2012. “Propiedades Nutritivas y Saludables de Algas Marinas y Su Potencialidad Como Ingrediente Funcional.” *Universidad de Chile* 39:196–202.
- Rabanal Atalaya, Melissa. 2006. “Estudio de La Biosorción de Co (II) Por El Alga Marina Macrocytis Piryfera.” Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Reyes, Úrsula F., Abel E. Navarro, and Bertha P. Llanos. 2009. “Algas Marinas Del Litoral Peruano Como Biosorbentes Potenciales de Ion Cu (II) En Tratamiento de Efluentes Industriales.” *Revista de La Sociedad Química Del Perú* 75(Ii):353–61.
- Rodríguez, Eric, Manuel Fernández, Elmer Alvítez, Luis Pollack, Luis Luján, Cristian Geldres, and

- Yemmy Paredes. 2018. "Algas Marinas Del Litoral de La Región La Libertad, Perú." *Scientia Agropecuaria* 9(1):71–81.
- Salazar Castillo, Marco. 2012. "Influencia Del PH y Tamaño de Partícula En La Adsorción de Cadmio En Una Solución Acuosa, Utilizando *Macrocystis Pyrifera*". Universidad César Vallejo.
- Seki, Hideshi and Akira Suzuki. 1998. "Biosorption of Heavy Metal Ions to Brown Algae, *Macrocystis Pyrifera*, *Kjellmaniella Crassifolia*, and *Undaria Pinnatifida*." *Journal of Colloid and Interface Science* 206(1):297–301.
- SINIA. 2006. "Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales."
- Tejada tovar, Candelaria, Ángel Villabona Ortiz, and Luz Garcés Jaraba. 2015. "Adsorción de Metales Pesados En Aguas Residuales Usando Materiales de Origen Biológico." *Tecno Lógicas* 18(34):109–23.
- Valle Ramírez del Arellano, Gabriela Avelinda. 2007. "Utilización de Microalgas Para La Remoción de Cadmio y Zinc de Efluentes de Agua Residuales Urbanas." *Centro de Investigación Científica y de Educación Superior de Ensenada* 1–83.
- Vizcaíno Mendoza, Lissette and Natalia Fuentes Molina. 2015. "Biosorción de Cd, Pb y Zn Por Biomasa Pretratada de Lagas Rojas, Cáscara de Naranja y Tuna." *Ciencia e Ingeniería Neogranadina* 43–60.