

# Uso de Algas Inmovilizadas para la Biorremediación de Aguas Contaminadas con Metales Pesados



Universidad  
de Concepción



FACULTAD  
DE CIENCIAS FÍSICAS  
Y MATEMÁTICAS



Regis Le-Feuvre<sup>1</sup>, Jorge Farías<sup>1</sup>, Patricia Honorato<sup>1</sup>, Nicolás Troncoso<sup>1</sup>, Sergio San Martín<sup>1</sup>, Roberto Riquelme<sup>1,2</sup> & Cristian Agurto<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina, Centro de Biotecnología, Universidad de Concepción.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Matemática, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Universidad de Concepción, Concepción - Chile.

Contacto: cagurto@udec.cl

El Grupo Interdisciplinario de Biotecnología Marina (GIBMAR) del Centro de Biotecnología (CB-UdeC) en conjunto con el Departamento de Ingeniería Matemática de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Concepción y las empresas Pigmentos Naturales S.A., y DCS Engineering Ltda., en el marco del proyecto Innova Chile de I+D aplicada de Corfo 13IDL2-23245, han trabajado intensivamente en la obtención de un biofiltro para la biorremediación de aguas con presencia de metales pesados, ya sea por causas naturales o antrópicas, utilizando micro y macroalgas inmovilizadas.

El propósito conceptual es la obtención de un sistema, cuyas materias primas provengan de fuentes renovables marinas presentes en el país cuyo manejo de los desechos se vea facilitado por la inmovilización del material algal (Figura 1), evitando una contaminación secundaria con el material biosorbente empleado. El objetivo principal de esta investigación es por tanto, desarrollar un sistema automatizado de biofiltración escalable y



Figura 1. Cultivo de materia prima microalgal para inmovilización.

altamente eficiente, para el tratamiento de aguas con altas concentraciones de metales pesados a partir de algas, lo que constituye una excelente oportunidad tecnológica y comercial para ingresar un innovador producto al atractivo mercado de los tratamientos de aguas, que en el año 2011 tuvo un tamaño de USD 57 billones, con un crecimiento estimado para el año 2016 de USD 93 billones y una tasa compuesta de crecimiento anual del 10,4%. (BCC Research, 2011)

En Chile existen muchos sectores donde es posible verificar la presencia de aguas contaminadas con diferentes metales pesados. Debido a las características volcánicas propias de nuestra geografía los cuerpos de agua presentan concentraciones de diversos metales pesados de origen natural. En el norte del país, como por ejemplo en el río Camarones de la región de Arica y Parinacota se han registrado niveles de arsénico 60 veces por sobre el máximo permitido por la norma nacional de aguas para consumo humano (Agurto et al 2015, datos no publicados).

La principal fuente de contaminación por metales pesados sobre los cuerpos de agua la constituye la actividad industrial, en especial la minería, que requiere de grandes volúmenes de agua para su actividad, y por ende destina una importante cantidad de recursos en el tratamiento de las aguas utilizadas en sus procesos, para el cumplimiento de las diferentes normativas. En este sentido, la normativa chilena, tanto sanitarias como ambientales (DS 90 y DS 609) exige, previa a la descarga final, el tratamiento del agua contaminada, lo que actualmente se realiza mediante variadas tecnologías, las que varían en cuanto a su costo, volumen de agua que pueden procesar, efectividad en la remoción de diferentes metales pesados, y la generación de desechos altamente tóxicos (Tabla 1). La presente propuesta ALGAEFILTER se diferencia de todas estas tecnologías tradicionales, al reemplazar el uso de químicos contaminantes, o la generación de grandes

**Tabla 1.** Ventajas y desventajas de métodos que se utilizan tradicionalmente en la remoción de metales pesados desde sistemas acuosos (Chojnacka, 2010).

TRATAMIENTO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Precipitación química	Simple, poco costoso, la mayoría de los metales pueden ser removidos.	Se producen grandes cantidades de lodos y hay problemas con su disposición final.
Coagulación química Intercambio iónico	Lodos de sedimentación, deshidratación, alta regeneración del material y selectividad de metales.	Costoso, gran consumo de químicos, un número reducido de número metales pueden ser removidos.
Métodos electroquímicos	Alta selectividad por metales, no hay consumo de químicos y la recuperación de metales puros es posible.	Alto costo de inversión y alto costo de mantenimiento.
Adsorción empleando carbón activado	La mayoría de los metales pueden ser removidos.	Costo del carbón activado, no puede ser regenerado, el rendimiento depende sobre todo del adsorbente y baja eficiencia.
Zeolita	La mayor parte de los metales puede ser removidos, los materiales son relativamente baratos.	Baja eficiencia.
Procesos de membrana y ultrafiltración	Se producen pocos desechos sólidos, el consumo químico es bajo y alta eficiencia.	Los costos iniciales y de mantenimiento son altos, el caudal empleado es bajo y la eficiencia se ve reducida por la presencia de otros metales.

cantidades de desechos en forma de lodos de difícil disposición, por un proceso que aprovecha la biomasa algal inmovilizada en una matriz polimérica biodegradable, para la remoción de dichos metales, facilitando operacionalmente su disposición final, gracias a la inmovilización del material biosorbente (Figura2).

**Figura 2.** Diferentes algas inmovilizadas en matriz polimérica.

### El potencial de micro y macroalgas para la descontaminación de metales pesados

Las microalgas poseen variadas características que las hacen actualmente muy útiles para la industria, como fuente de metabolitos secundarios de alto valor, productos alimenticios, cosmética, e incluso hidrocarburos, por nombrar algunos de los campos en las que están en producción o en activo desarrollo. Estos microorganismos combinan la capacidad fotosintética de las plantas, con el rápido crecimiento de los organismos unicelulares, lo que les provee la capacidad para crecer en medios de cultivo simples en enormes cantidades, alcanzando un gran potencial de productividad. Del mismo modo, existen múltiples investigaciones que demuestran la capacidad de ciertas microalgas para crecer y remover metales pesados del ambiente acuoso, de ahí

su potencial para la biorremediación de aguas residuales industriales y para consumo humano. Diversas cepas han demostrado una alta capacidad para sobrevivir en ambientes con altas concentraciones de dichos metales, removiéndolos en breves tiempos con eficiencias cercanas al 97% para el caso de distintas cepas de *Chlorella vulgaris* (Lau et al., 1998).

Por otro lado, el empleo de biomasa macroalgal también constituye un gran potencial de biorremediación. Estas algas además de presentar una alta capacidad para remover metales pesados, se pueden encontrar en grandes cantidades en zonas litorales a nivel global y son de fácil acceso para su cosecha (Kuyicak & Volesky, 1990, Rincon et al., 2005), pudiendo incluso algunas de ellas ser cultivadas. Hace quince años atrás se determinó el potencial de muchas especies de macroalgas para la remoción de cadmio, plomo, níquel y zinc en soluciones acuosas, encontrándose un alga, *Lyngbya taylorii*, capaz de remover los cuatro metales con una alta eficiencia (Klimmek et al., 2001). De manera similar, el alga *Sargassum sinicola* remueve cobre y cadmio en proporciones superiores al 80% (Mónica Patrón-Prado et al., 2010).

### La inmovilización del material algal para optimizar la recuperación de la biomasa y la remoción de metales

La gran desventaja del uso tanto de micro como de macroalgas, es que su recuperación o cosecha de la biomasa una vez que estas han incorporado los metales pesados desde el agua, puede ser complicada y de alto costo energético, empleándose desde filtración por arena, hasta la centrifugación. Una excelente solución para recuperar de manera sencilla las algas, es su inmovilización, pues al no estar libre el material, esta matriz que encapsula la biomasa algal se puede remover fácilmente del agua tratada, permitiendo una aplicación alternativa muy atractiva a los procesos actuales de tratamiento de aguas.

La inmovilización de las microalgas puede incrementar la capacidad de biosorción de metales pesados, tal como se verificó en el caso de *Scenedesmus obliquus*, la cual sin inmovilizar removió de un 12 a un 27% de cromo. En comparación con *S. obliquus* inmovilizada, ésta incrementó su remoción a un 95% para el mismo metal (Pellon et al., 2003). Otros metales pesados altamente contaminantes como el plomo han sido removidos con diferentes microalgas, tal como *Chlorella sorokiniana*, con una tasa de remoción desde el agua de un 95% (Akhtar et al., 2004).

Por otra parte, la aplicación industrial de la biosorción de metales pesados a partir de la inmovilización de la biomasa macroalgal, también facilita separar la biomasa inmovilizada del agua, evitando el empleo de métodos costosos en términos energéticos o de recursos humanos (Golab et al., 1991). De esta manera se ha empleado *Laminaria saccharina* inmovilizada para remover níquel en un 99% (Hashim & AL-Hamadani, 2012), o *Sargassum baccularia*, la cual es capaz de remover hasta un 99% del cadmio presente en el agua (Volesky & Prasetyo, 1994). Esta tecnología de inmovilización de la biomasa algal adicionalmente, permite recuperar los metales que las macroalgas han removidos del medio acuoso. A modo de ejemplo, de-Bashan & Bashan (2010) obtuvieron el 90% del cobre absorbido por las macroalgas, demostrando una interesante propiedad que puede ser utilizada para recuperar metales valiosos para la industria, permitiendo su reutilización.

### Un sistema eficiente, amigable con el ambiente y escalable para el tratamiento de aguas contaminadas

El diseño y obtención de un sistema de biofiltros automatizado, utilizando biomasa de micro y macroalgas inmovilizadas en una matriz polimérica biodegradable, para la remoción de metales pesados desde aguas destinadas al consumo humano, y desde residuos industriales, en especial los del sector minero, es única a nivel nacional. En este sentido, pese a la existencia de publicaciones a nivel internacional que avalan esta propiedad, en Chile no existen en la actualidad, ningún proceso en funcionamiento

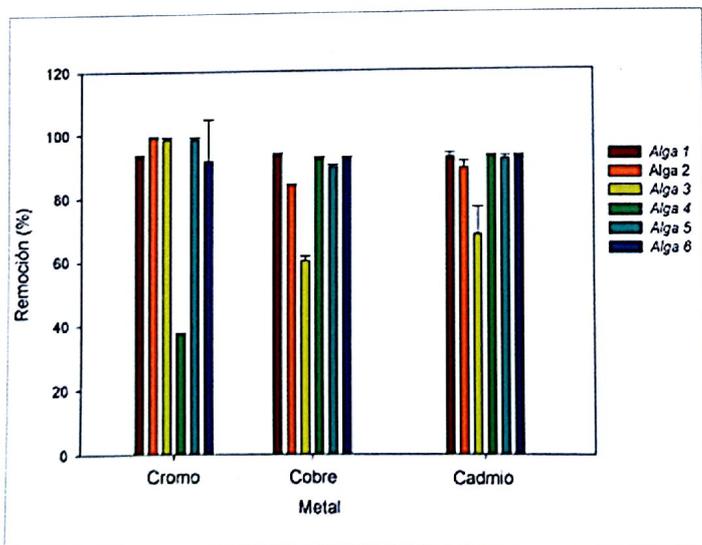


Figura 3. Remoción (%) de metales pesados por diferentes especies de algas en 24 horas.

similar que aproveche de esta manera el potencial biorremediador de las algas.

El proyecto considera la producción de un sistema a escala prototipo, modular, automatizado, con replicabilidad para todo el territorio nacional, de fácil instalación y mantención, para el tratamiento de aguas con altas concentraciones de metales pesados, considerando diversas variables tanto de diseño como de simulación numérica para asegurar la máxima eficiencia del proceso de biofiltración. Estas consideraciones, permitirán mejorar la calidad del agua para consumo humano o para un adecuado tratamiento de residuos líquidos industriales. La facilidad para recuperar el material base del biofiltro, la disposición final del material algal e incluso la potencial recuperación de los metales valiosos, unido a la escalabilidad del sistema modular, que permitirá su adecuación a diferentes volúmenes de agua, son las bases sobre las cuales se sustenta esta propuesta científica y tecnológica.

El equipo ejecutor del proyecto, junto a las empresas coejecutoras, han evaluado cerca de quince algas inmovilizadas para la remoción de cinco metales pesados, evaluando diferentes variables que afectan el proceso de biosorción. De igual modo, se han construido 4 prototipos de sistemas continuos de biosorción, que han permitido identificar los mejores materiales en términos de precio – calidad, para el escalamiento industrial a costos competitivos. En este sentido, las distintas pruebas realizadas han permitido seleccionar tanto micro como macroalgas con valores de remoción de metales superiores al 90%, que permitirán establecer las mejores especies algales para su utilización en la descontaminación de aguas (Figura 3). Adicionalmente, se ha diseñado y construido un sistema de inmovilización a nivel piloto, que permite la obtención rápida de una gran cantidad de material inmovilizado, y se ha realizado la caracterización estructural de los biosorbentes a través de micrografías electrónicas (Figuras 4 y 5). En general, los resultados obtenidos, han permitido identificar y definir parámetros cruciales para el diseño y construcción del sistema a escala piloto, que finalmente será la base técnica para la obtención de un proceso automatizado a escala industrial.

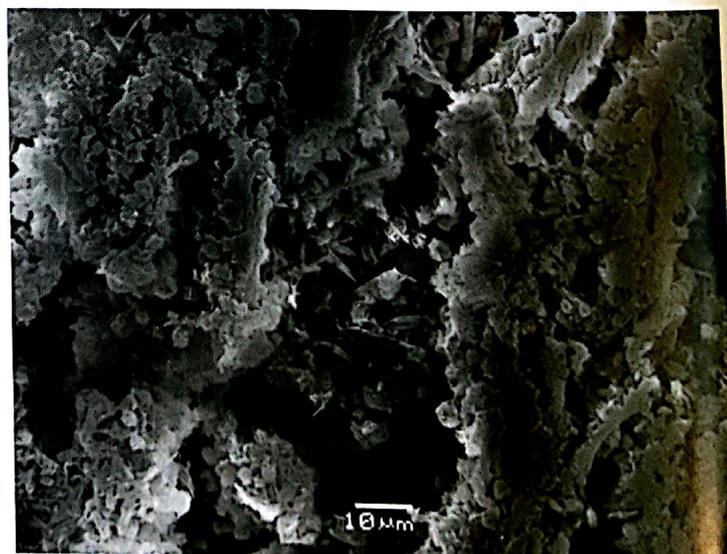
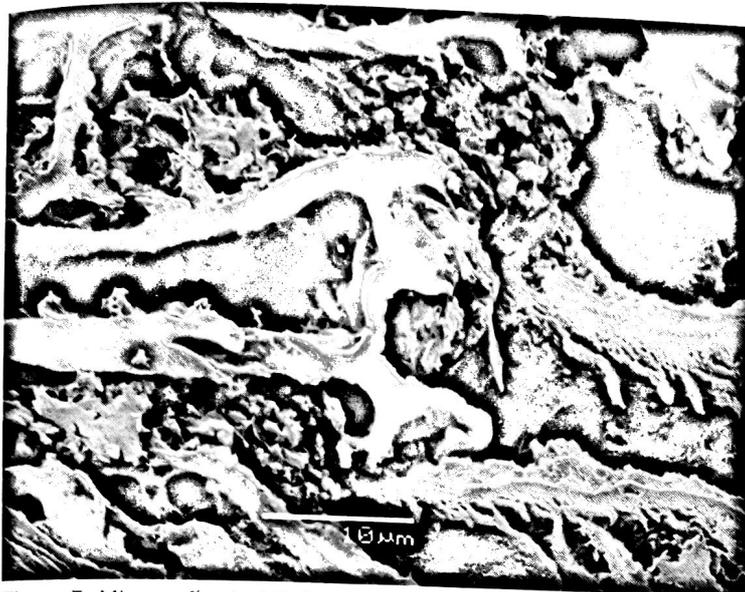


Figura 4. Micrografía electrónica de barrido (SEM) de un corte transversal de microalgas inmovilizadas en una matriz polimérica. 2500 x.



**Figura 5.** Micrografía electrónica de barrido (SEM) de un corte transversal de biomasa macroalgal inmovilizada en una matriz polimérica. 6000 x.

## Las algas como recurso aún no explotado plenamente en Chile

El uso de las algas, y en particular las macroalgas, está restringido principalmente a la extracción de hidrocoloides (agar, alginatos, carragenina, etc) como producto con valor agregado, y a la explotación de biomasa para consumo humano. Pese al gran potencial que Chile posee al tener una extensa costa y un fácil acceso a los recursos algales, la mayor parte de las exportaciones solo son de materia prima, faltando el componente de la innovación para lograr productos derivados de estas, con aplicación de tecnología y por tanto, de mayor precio y competitividad a nivel internacional, superando la típica producción de commodities en la que está enfrascado el país. En este escenario, el GIBMAR del Centro de Biotecnología de la Universidad de Concepción, se ha caracterizado por realizar investigación aplicada de alto nivel, orientada siempre a la innovación y desarrollo de nuevos productos de nivel comercial a partir de las algas, siendo esta una nueva propuesta en la línea del aprovechamiento responsable de los recursos algales nacionales para dar respuesta a una problemática concreta que es la contaminación de aguas por metales pesados, con positivos y grandes impactos tanto en la mejora de la salud pública en zonas pobladas que sufren de este problema, como para el ambiente que recibe estos desechos producto de la actividad humana.

## El GIBMAR

La misión de nuestro grupo es desarrollar e implementar una plataforma integrada de investigación, desarrollo e innovación, que fortalezca la asociatividad con el sector productivo con un fuerte impacto socio-económico, permitiendo la diversificación acuícola de los recursos marinos y agregando valor a través de la generación de nuevos productos. Su visión es trabajar para posicionarse como un referente nacional e internacional en el desarrollo de nuevos productos tecnológicos utilizando como fuente de materia prima organismos marinos.

Las principales líneas de investigación y desarrollo están focalizadas en biorremediación, biomateriales, bioenergía, alimentos funcionales, nutracéuticos, farmacéuticos, cosmeceúticos, y

tecnologías de cultivos y cosecha, las que se abordan a través de equipos multidisciplinarios en Modelación numérica, Cultivos hidrobiológicos, Extracción y purificación de compuestos químicos, Caracterización química, Ingeniería genética y Desarrollo de nuevos productos. Equipos que están apoyados constantemente por los equipos de Formulación y Gestión de proyectos, Vigilancia y transferencia tecnológica.

## Literatura Citada

**Agurto C, J. Farías y R. Le-Feuvre. 2015.** datos no publicados proyecto Corfo Innova Chile 13IDL2-23425.

**Akhtar, N., Iqbal, J. & Iqbal, M. 2004.** Enhancement of lead(II) biosorption by microalgal biomass immobilized onto loofa (*Luffa cylindrica*) sponge. *Engineering in Life Sciences* 4:171-78.

**BBC Research 2011.** Water and Wastewater Treatment Technologies: Global Markets. Repor Code: ENV008B

**Chojnacka, K. (2010)** Biosorption and bioaccumulation - the prospects for practical applications. *Env. Int.*, 36, 299-307.

**de-Bashan, L. E. & Bashan, Y. 2010.** Immobilized microalgae for removing pollutants: Review of practical aspects. *Bioresource Technology* 101:1611-27.

**Golab Z, Orlowska B & Smith R W 1991.** Biosorption of lead and uranium by *Streptomyces* sp. *Water, Air and Soil Pollunt* 60:99-106.

**Hashim, F. & AL-Hamadani, K. 2012.** Removal of Nickel Ions Using A Biosorbent Bed (*Laminaria saccharina*) Algae. *Iraqi Journal of Chemical and Petroleum Engineering* 13:47-55.

**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* 35:4283-88.

**Kuyicak, N. & Volesky, B. 1990.** Biosorption by fungal biomass. In: Volesky B, editor. *Biosorption of heavy metals*. Florida: CRC press:173-98.

**Lau, A., Wong, Y. S., Zhang, T. & Tam, N. F. Y. 1998.** Metal removal studied by a laboratory scale immobilized microalgal reactor. *Journal of Environmental Sciences* 10:474-78.

**Mónica Patrón-Prado, Baudilio Acosta-Vargas, Elisa Serviere-Zaragoza & Méndez-Rodríguez, L. C. 2010.** Copper and Cadmium Biosorption by Dried Seaweed *Sargassum sinicola* in Saline Wastewater. *Water, Air, & Soil Pollution* 210:197-202.

**Pellon, A., Benítez, F., Frades, J., García, L., Cerpa, A. & Alguacil, F. J. 2003.** Using microalgae *Scenedesmus obliquus* in the removal of chromium present in plating wastewaters. 39:9-16.

**Rincón, J., González, F., Ballester, A., Blazquez, M. & Muñoz, J., A. 2005.** Biosorption of heavy metals by chemically-activated algae *Fucus vesiculosus*. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 80:1403-07.

**Volesky, B. & Prasetyo, 1994.** Cadmium removal in a biosorption column. *Biotechnology and Bioengineering* 43:110-1015.