

# Evaluación de la capacidad de *Auxenochlorella* sp. (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) para la remoción de cobre en soluciones sintéticas

Evaluation of the capacity of *Auxenochlorella* sp. (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) for the copper removal from synthetic solutions

Walter Antecao<sup>1</sup>, Johanna Obreque<sup>1</sup> y Roberto Ramos<sup>1,2\*</sup>

<sup>1</sup>Centro de Desarrollo Biotecnología Industrial y Bioproductos Domolif SpA, Antofagasta, Chile

<sup>2</sup>Departamento de Ciencias Acuáticas y Ambientales, Facultad de Ciencias del Mar y de Recursos Biológicos, Universidad de Antofagasta, Av. Angamos 601, Antofagasta, Chile

\*Autor corresponsal: [roberto.ramos@uantof.cl](mailto:roberto.ramos@uantof.cl)

**Abstract.** - A study was designed with the purpose of preliminarily evaluating heavy metal removal capacity of the green microalga *Auxenochlorella* sp., exposing it to different concentrations of copper in synthetic solutions. The study was carried out in the laboratory of Aguamarina Spa Company. *Auxenochlorella* sp. microalgae were kept under cryopreservation at -80 °C until the date of the experiment. Then they were thawed and reactivated to be maintained in the culture medium described by the supplying laboratory. The microalgae were transferred from the cryogenizer tube to a test tube and then to Erlenmeyer flasks where they were maintained under controlled conditions of temperature (19 °C), aeration and a photoperiod of 24:0 h of light. Three concentrations of copper were used in the experiment; 1.0, 3.0 and 5.0 mg L<sup>-1</sup>, respectively, each in triplicate and two additional controls, C1 contained only the microalgae without culture medium and C2 contained the microalgae with culture medium, with an initial concentration in all treatments of 3.87·10<sup>6</sup> cells mL<sup>-1</sup>. Finally, the results obtained allow us to conclude that the microalga *Auxenochlorella* sp. exposed to copper at different concentrations was able to remove up to 15.32% of copper. The concentrations of the metal were not sufficient to cause growth inhibition or mortality, however, the copper removal rates were not close to what was expected for this taxonomic family of microalgae. According to the results, this problem must continue to be addressed, in order to find optimal environmental and nutritional factors that improve the efficiency of copper removal by the microalga *Auxenochlorella* sp.

**Key words:** Removal, copper, chlorophyte, microalgae, *Auxenochlorella* sp.

## INTRODUCCIÓN

El impacto de la actividad antropogénica ha aportado al ambiente metales pesados peligrosos por sus características no biodegradables y otros desechos contaminantes considerados tóxicos (Wu *et al.* 2010, Bolan *et al.* 2014). Esta contaminación es generada particularmente por faenas industriales, que por lo general, tienen como destinatario final directa o indirectamente cursos de aguas naturales como ríos, lagos, mares y océanos.

Los estanques de relave, área ocupada por los desechos de roca molida, minerales, agua, metales pesados y químicos como arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), cobre (Cu) y mercurio (Hg), entre otros, que se obtienen producto de procesos de concentración de minerales, son el desecho industrial más importante, según su tamaño y riesgo, representando un alto porcentaje de los pasivos ambientales mineros. En Perú, el tratamiento de los relaves mineros es motivo de grandes controversias y generadora de una imagen negativa por los impactos ambientales que conllevan a una contaminación sistemática del agua o del subsuelo (Villena 2018).

En Chile, muchos problemas ambientales están asociados al manejo de los relaves mineros, relacionados a la contaminación del suelo, aire y aguas, tanto superficiales como subterráneas, que por infiltración a través del suelo llegan finalmente a pozos, estanques y ríos, para luego ser usada como agua de consumo humano, animal, de riego y recreativo, o bien llegar directamente a aguas superficiales como polvo mineral (Cacciuttolo & Cano 2022).

En Chile, hay casos emblemáticos de contaminación por relaves, como en la ciudad de Copiapó (Región de Atacama) donde existen 84 relaves mineros y el 50% de ellos dentro del área urbana. Estudios realizados han demostrado que las concentraciones de cobre, arsénico, zinc y hierro exceden los estándares internacionales para uso del suelo con fines residenciales e industriales (Simon *et al.* 2023). En la misma región de Atacama, en la ciudad de Chañaral, por cinco décadas (1938-1989) se vertieron más de 350 de toneladas de sustancias tóxicas de la actividad minera al cauce del río Salado, las cuales fueron sedimentándose en la bahía de Chañaral (González 2021).



Entre los impactos potenciales que genera la disposición de relaves en el mar, destaca (i) la asfixia de organismos bentónicos y la alteración física del hábitat de fondo marino, (ii) la reducción en la abundancia de especies y biodiversidad de las comunidades marinas; (iii) toxicidad directa por el contacto de metales pesados provenientes de relaves; y (iv) riesgo en la salud de las personas por consumo de peces contaminados por bioacumulación de metales (Fundación Terram 2018)<sup>1</sup>.

El relave sedimentado es la fuente principal de metales disueltos en el agua, por lo que se debe considerar su efecto contaminante no sólo en la destrucción total de la vida bentónica e intermareal, sino que además como una fuente permanente de contaminación hacia zonas más alejadas, a través de la liberación de iones de metales pesados que son arrastrados por las masas de agua en movimiento (González 2021).

Los metales pesados son indispensables para el desarrollo de microorganismos, plantas y animales, ya que cumplen funciones esenciales en algunas reacciones bioquímicas, del crecimiento y del desarrollo. Sin embargo, cuando las concentraciones de metales pesados son muy elevadas pueden formar compuestos inespecíficos creando efectos citotóxicos y letales (Soto *et al.* 2010 *fide* Beltrán-Pineda & Gómez-Rodríguez 2016). Una vez que se ingieren concentraciones de metales pesados, mayores a las permitidas, estas pueden causar serios trastornos de salud en los seres humanos, como vómitos, hemorragias y síndromes nefríticos (Zhou *et al.* 2012).

No obstante, existen estrategias de remediación llevada a cabo por microorganismos que pueden minimizar la toxicidad y biodisponibilidad de los metales pesados. Bolan *et al.* (2014), afirman que los microorganismos juegan un rol vital en la transformación de elementos traza, incluidos los metales, ya que influyen su biodisponibilidad y remediación, pueden alterar la toxicidad, solubilidad en agua y la movilidad del elemento. Los microorganismos modifican la concentración de metales pesados en el ambiente, pues estos cuentan con mecanismos enzimáticos y no enzimáticos para remover metales en solución (Rajendran *et al.* 2003 *fide* Beltrán & Gómez 2016).

Según Terry & Stone (2002), el cobre en concentraciones excesivas es tóxico para una variedad de organismos vivos, desde humanos hasta bacterias y, especialmente peces. Estudios realizados por Terry & Stone (2002) en microalgas verdes para evaluar la eficacia de remoción y respuestas a exposición de altas concentraciones de cobre, concluyeron

que *Desmodesmus abundans* reduce el cobre en solución de 10 mg L<sup>-1</sup> a 0,09 mg L<sup>-1</sup> después de 36 h. Por su parte, Zhou *et al.* (2012), aseguran que *Auxenochlorella pyrenoidosa* y *Tetradismus obliquus* eliminan 90,9% y 91,4% de cobre, respectivamente, después de 8 días expuestas a este metal. En este mismo estudio, los autores señalan que *A. pyrenoidosa* sería más eficiente que *T. obliquus* para eliminar iones de cobre y que el metal adsorbido en la superficie de las células fue mucho más alto que los acumulados intracelularmente. Yang *et al.* (2014) reporta que *Mychonastes homosphaera* elimina cobre a una tasa máxima de 83,60%. Teniendo en cuenta los antecedentes, con relación al gran espectro de opciones que presentan las microalgas, el objetivo del presente estudio fue realizar una evaluación preliminar de la capacidad de remoción de cobre de la microalga verde *Auxenochlorella* sp., como potencial agente de fitoremediación de aguas residuales de la industria minera.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el laboratorio de la Empresa Aguamarina Spa, en la ciudad de Antofagasta, Chile, utilizando la microalga cloroficea *Auxenochlorella* sp. Las células de la microalga se obtuvieron desde el Reino Unido, específicamente de la Colección de Cultivos de Algas y Protozoa (CCAP, UK)<sup>2</sup>.

La microalga *Auxenochlorella* sp. se mantuvo en criopreservación a -80 °C hasta la fecha de realización del experimento, luego fueron descongeladas y reactivadas (Day & Brand 2005) para ser conservadas en el medio de cultivo proporcionado por el laboratorio de origen. Las microalgas se traspasaron desde el tubo criogenizador hacia un tubo de ensayo y luego a matraces Erlenmeyer de 1 L donde se mantuvieron con temperatura de 19 °C, pH neutro, aireación y un fotoperiodo de 24:0 h de luz generado por un tubo fluorescente que aportaba 16,01 μmol m<sup>2</sup> s<sup>-1</sup> de intensidad lumínica.

En la etapa experimental, se usaron 12 matraces Erlenmeyer de vidrio con capacidad de 1 L, utilizando un volumen final de 500 mL. Se prepararon tres concentraciones de cobre de 1,0, 3,0 y 5,0 mg·L<sup>-1</sup> utilizando como reactivo sulfato de cobre pentahidratado (CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O), en triplicado y dos controles adicionales; el control 1 (C1) contenía solo *Auxenochlorella* sp. sin medio de cultivo, solo con agua dulce filtrada, el control 2 (C2) contenía *Auxenochlorella* sp. enriquecida con medio de cultivo proporcionado por el laboratorio proveedor de la cepa. Se mantuvieron las mismas condiciones experimentales de temperatura, pH, aireación y fotoperiodo descritas anteriormente.

<sup>1</sup>Fundación Terram. 2018. Chile: Relaves mineros son arrojados al mar en Huasco. <<https://www.terram.cl/chile-relaves-mineros-son-arrojados-al-mar-en-huasco/>>

<sup>2</sup>Culture Collection of Algae and Protozoa. Scottish Association for Marine Science, Scotland. <<https://www.ccap.ac.uk/>>

La concentración celular se determinó mediante fotometría a través de la medición de densidad óptica a una longitud de onda de 660 nm. Todos los tratamientos fueron inoculados con una concentración microalgal final de de  $3,87 \times 10^6$  células  $\text{mL}^{-1}$ .

En la rutina experimental, se tomaron muestras durante 6 días, y una última muestra el día 11 de iniciado el experimento. Esta medición se definió durante la etapa experimental, debido que hasta el muestreo del día 6 no se tuvo una clara reducción de las concentraciones de cobre y se quiso comprobar si al aumentar el tiempo de exposición al doble, se obtendría una mayor eficiencia de remoción.

Para evaluar la eficiencia de remoción de cobre, por parte de la biomasa microalgal, se utilizó la ecuación propuesta por Ajjabi & Chouba (2009):

$$R = \frac{(C_0 - C_f)}{C_0} \times 100$$

donde R representa el porcentaje de remoción,  $C_0$  y  $C_f$  son las concentraciones iniciales y finales del metal en la solución ( $\text{mg L}^{-1}$ ), respectivamente.

El análisis estadístico de los resultados fue realizado utilizando el software IBM® SPSS Statistics 22. Para verificar la normalidad de los datos se aplicó la prueba de Shapiro-Wilk. A través de ANDEVA de una vía se determinaron diferencias significativas ( $P < 0,05$ ) en los resultados de crecimiento celular y eficiencia de remoción de cobre para los distintos tratamientos, cuando se identificaron diferencias se aplicó la prueba *a posteriori* de Tukey ( $P < 0,05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los datos de crecimiento microalgal fueron calculados utilizando la ecuación de la recta proporcionada por la calibración entre recuento celular y densidad óptica que fue realizada previamente. Se estableció una relación lineal entre las dos variables, representada por la ecuación:  $Y = 2 \times 10^{-8}X + 0,0259$ , con un índice de correlación de  $R^2 = 0,9948$ .

Los recuentos de células microalgales a lo largo del estudio, mostraron que se mantuvieron estable en todos los tratamientos, incluido el control C1, no obstante, el control C2 el cual contenía *Auxenochlorella* sp. más medio de cultivo, alcanzó su fase estacionaria el día 11 con una concentración de  $1,18 \times 10^8$  células  $\text{mL}^{-1}$  (Fig. 1).

En la Tabla 1 se muestran los valores promedios de células algales en todos los tratamientos, los cuales no presentaron diferencias significativas ( $P > 0,05$ ), con excepción de control C2, el cual alcanzó una densidad celular superior al control C1 y tratamientos, atribuible al aporte de nutrientes del medio de cultivo incorporado en este.

En relación a la remoción de cobre, los datos de absorbancia y las mediciones de cobre con concentraciones conocidas realizadas previamente, permitieron verificar que la regresión presentaba una relación lineal cuya ecuación estaba dada por  $Y = 0,1668X - 0,0149$ , con un índice de correlación de  $R^2 = 0,9977$ . Las concentraciones iniciales de 0,977; 3,461 y 5,668  $\text{mg L}^{-1}$  registraron valores finales de 0,827; 3,353 y 5,391  $\text{mg L}^{-1}$  respectivamente, no presentando diferencias significativas entre sí, para cada tratamiento ( $P > 0,05$ ). Los valores de eficiencia de remoción de cobre por acción de la microalga *Auxenochlorella* sp. corresponden a 15,32; 3,88 y 5,12% para los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente (Tabla 2).

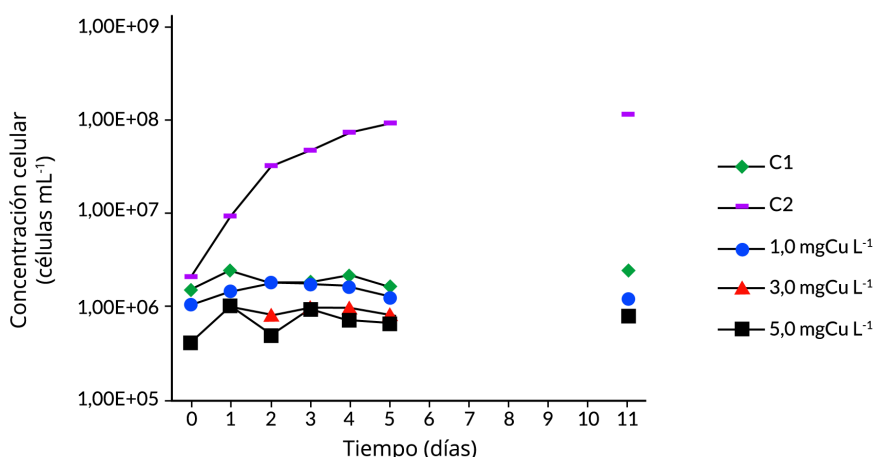


Figura 1. Recuentos celulares de *Auxenochlorella* sp. para los tratamientos y controles C1 y C2 / Cell counts of *Auxenochlorella* sp. for treatments and controls C1 and C2

**Tabla 1. Concentración promedio de *Auxenochlorella* sp. para el período experimental / Average concentration of *Auxenochlorella* sp. for the experimental time**

Tratamientos	Concentración promedio de microalgas (células mL <sup>-1</sup> )
Control C1 (microalgas sin medio enriquecido)	2,04·10 <sup>6</sup> <sup>a</sup>
Control C2 (microalgas con medio enriquecido)	5,38·10 <sup>7</sup> <sup>b</sup>
Tratamiento 1 (1,0 mg·L <sup>-1</sup> )	1,50·10 <sup>6</sup> <sup>a</sup>
Tratamiento 2 (3,0 mg·L <sup>-1</sup> )	8,60·10 <sup>5</sup> <sup>a</sup>
Tratamiento 3 (5,0 mg·L <sup>-1</sup> )	7,57·10 <sup>5</sup> <sup>a</sup>

Letras diferentes en la misma columna muestran diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

La biorremediación es un proceso biológico complejo realizado por microorganismos, los que pueden reducir la biodisponibilidad de metales pesados mediante la producción de ácidos orgánicos e inorgánicos, reducción, oxidación y producción de agentes complejantes (Gadd 2010). En este escenario, diversos factores bióticos y abióticos influyen en gran medida en el crecimiento y las funciones metabólicas de los microorganismos y su eficacia en la biorremediación (Govarthanan *et al.* 2016).

En este estudio, ninguna de las concentraciones de cobre evaluadas (1,0; 3,0 y 5,0 mg L<sup>-1</sup>) mostraron ser inhibitorias del crecimiento celular de *Auxenochlorella* sp. y tampoco fueron incidentes en una mejora del crecimiento celular a lo largo del experimento, al mantener concentraciones relativamente estables. Estudios similares realizados por Veenstra *et al.* (1999), encontraron que una dosis de cobre de 3,0 mg L<sup>-1</sup> no tuvo ningún efecto sobre el comportamiento en microorganismos, pero dosis tan altas como 47,0 y 56,0 mg L<sup>-1</sup> redujeron significativamente el rendimiento de los sistemas biológicos. Por su parte, según lo expuesto por Terry & Stone (2002) ninguna de las muestras evaluadas mostró una disminución significativa en la clorofila *a* en comparación con el estándar cuando se expuso a 5,0 mg L<sup>-1</sup>.

Este comportamiento estable de la microalga durante el periodo de ensayo podría estar relacionada con lo propuesto por Rodríguez & Rivera (1995) que atribuyen esta conducta con la utilización del cobre como micronutriente.

Por su parte, Yang *et al.* (2014) evaluaron la eficiencia de biorremediación de *Mychonastes homosphaera* UTEX2341 y determinaron que la tasa máxima de eliminación de cobre fue de 83,60%, difiriendo mucho de lo observado en el presente estudio con *Auxenochlorella* sp. donde la máxima eficiencia de remoción alcanzada fue 15%. De igual forma, Zhou *et al.* (2012) determinaron eficiencias de remoción de 90,9% y 91,4% para *Auxenochlorella pyrenoidosa* y *Tetrademus obliquus*, respectivamente. Esto puede sugerir que, a pesar que *Auxenochlorella* sp. pertenece al grupo

**Tabla 2. Concentración de cobre residual inicial, final y porcentaje de remoción / Initial and final residual copper concentration and removal percentage**

Nº tratamiento (concentración de cobre)	Concentración de cobre residual (mg L <sup>-1</sup> )		
	Inicio	Final	Remoción (%)
Tratamiento 1 (1,0 mg·L <sup>-1</sup> )	0,977 <sup>a</sup>	0,827 <sup>a</sup>	15,35
Tratamiento 2 (3,0 mg·L <sup>-1</sup> )	3,461 <sup>a</sup>	3,353 <sup>a</sup>	3,12
Tratamiento 3 (5,0 mg·L <sup>-1</sup> )	5,668 <sup>a</sup>	5,391 <sup>a</sup>	4,88

Letras diferentes en la misma fila muestran diferencias significativas ( $P < 0,05$ )

de las Chlorophyceae podrían existir diferencias en los requerimientos fisicoquímicos, nutricionales o capacidad metabólica para tolerar metales pesados. En general, los microorganismos tienen su capacidad tolerante innata para adaptarse a las duras condiciones ambientales; sin embargo, tienen ciertas limitaciones (Jacob *et al.* 2018).

La concentración de biomasa es uno de los factores biológicos importantes para la biorremediación microbiana (Gokhale *et al.* 2008, Finocchio *et al.* 2010). Al respecto, Park & Choi (2002) sugirieron que, a bajas concentraciones de biomasa, la eficiencia de remoción del metal por los microorganismos era mayor cuando el espacio intercelular era mayor. Esto entra en contraposición con los resultados obtenidos, donde la baja concentración celular de *Auxenochlorella* sp. no fue suficiente para alcanzar valores de eliminación de cobre, al menos por sobre el 80%, como era de esperarse para este grupo microalgal.

Una mayor concentración de biomasa causa agregación celular, que posteriormente reduce la distancia intercelular, lo que resulta en una menor eliminación de metal (Fadel *et al.* 2017). Terry & Stone (2002) informaron que la mayor concentración de biomasa de *Desmodesmus abundans* redujo la absorción de Cu (II) y Cd (II). De igual forma, Romera *et al.* (2007) determinaron que la máxima eficiencia de absorción, de diferentes cepas de microalgas, para distintos iones metálicos se observó en las biomásas más bajas.

Por su parte, Karthik *et al.* (2016) plantean que la eficacia de eliminación de metales pesados por los microorganismos aumenta a medida que aumentan las concentraciones iniciales de metal. En este estudio, se observó lo contrario a lo planteado por Karthik *et al.* (2016). Si bien es cierto, se obtuvieron bajas tasas de remoción para los tratamientos de 1,0; 3,0 y 5,0 mg L<sup>-1</sup> de cobre (15,32%; 3,88% y 5,12%; respectivamente), comparados los tratamientos, la más baja concentración de cobre (1,0 mg L<sup>-1</sup>) a la que fue sometida *Auxenochlorella* sp. resultó en la más alta tasa de remoción.

Esto podría sugerir que no necesariamente se deban aumentar las concentraciones iniciales de metal para elevar los niveles de remoción de *Auxenochlorella* sp., considerando que la microalga podría tener una capacidad fisiológica menor y quizás una menor concentración de cobre podría haber registrado una mayor tasa de remoción. De todas formas, lo anterior sugiere profundizar estudios en esta línea argumental.

Por otra parte, la toxicidad de los metales pesados induciría diversos cambios fisiológicos y bioquímicos en las microalgas, como la disminución de la biomasa, funciones celulares alteradas y desactivación de las enzimas microbianas (Oves *et al.* 2016).

Otro aspecto por considerar, es la disponibilidad de nutrientes en el medio, determinante en la tasa de biorremediación *in situ* y *ex situ* de microorganismos. Los nutrientes como el carbono, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio y el magnesio están directamente implicados en el crecimiento microbiano; son utilizados por microorganismos para reacciones metabólicas y síntesis de enzimas necesarias para descomponer los contaminantes (Jacob *et al.* 2018). En relación a este punto, se podría dar una respuesta a la baja tasa de remoción de cobre experimentada por *Auxenochlorella* sp., por debajo de lo encontrado por otros autores con microalgas Chlorophyceae (Terry & Stone 2002, Zhou *et al.* 2012, Yang *et al.* 2014), y de esta manera, el potencial de los agentes biológicos para atacar los metales pesados y convertirlos en sustancias no tóxicas, podría estar afectado por la inhabilidad enzimática para degradarlos.

Finalmente, los resultados preliminares obtenidos permiten concluir que la microalga *Auxenochlorella* sp. expuesta en distintas concentraciones de cobre, fue capaz de remover hasta el 15% del cobre presente en la solución. A pesar que las concentraciones de cobre no fueron suficientes para provocar inhibición del crecimiento o mortalidad de las células algales, las tasas de remoción no estuvieron cercanas a lo esperado para esta familia taxonómica de microalga. No obstante, se debe continuar la investigación, y determinar factores ambientales y nutricionales óptimos que mejoren la eficiencia de remoción de cobre por la microalga *Auxenochlorella* sp.

## LITERATURA CITADA

- Ajjabi L & L Chouba. 2009.** Biosorption of Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> from aqueous solutions by dried marine green macroalga *Chaetomorpha linum*. *Journal of Environmental Management* 90: 3485-3489.
- Beltrán-Pineda M & A Gómez-Rodríguez. 2016.** Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas* 12(2): 172-197.

- Bolan N, A Kunhikrishna, R Thangarajan, J Kumpiene, J Park, T Makino & K Scheckel. 2014.** Remediation of heavy metal(loid)s contaminated soils - To mobilize or to immobilize. *Journal of Hazardous Material* 266: 141-166.
- Cacciuttolo C & D Cano. 2022.** Environmental impact assessment of mine tailings spill considering metallurgical processes of gold and copper mining: Case studies in the Andean Countries of Chile and Peru. *Water* 14, 3057. <<https://doi.org/10.3390/w14193057>>
- Day J & J Brand. 2005.** Cryopreservation methods for maintaining microalgal cultures. In: Andersen RA (ed). *Algal culturing techniques*, pp. 165-187. Elsevier Academy Press, Oxford.
- Fadel M, NM Hassanein, MM Elshafei, AH Mostafa, MA Ahmed & HM Khater. 2017.** Biosorption of manganese from groundwater by biomass of *Saccharomyces cerevisiae*. *HBRC Journal* 13(1): 106-113.
- Finocchio E, A Lodi, C Solisio & A Converti. 2010.** Chromium (VI) removal by methylated biomass of *Spirulina platensis*: the effect of methylation process. *Chemical Engineering Journal* 156(2): 264-269.
- Gadd G. 2010.** Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology* 156(3): 609-643.
- Gokhale S, K Jyoti & S Lele. 2008.** Kinetic and equilibrium modeling of chromium (VI) biosorption on fresh and spent *Spirulina platensis/Chlorella vulgaris* biomass. *Bioresource Technology* 9(99): 3600-3608.
- González P. 2021.** Habitar entre arenas de relaves. Incertidumbre sanitaria y sufrimiento ambiental en Chañaral (Chile). *Revista INVI* 36(101): 83-108. <<https://doi.org/10.4067/S0718-83582021000100083>>
- Govarthanan M, R Mythili, T Selvankumar, S Kamala-Kannan, A Rajasekar & Y-C Chang. 2016.** Bioremediation of heavy metals using an endophytic bacterium *Paenibacillus* sp. RM isolated from the roots of *Tridax procumbens*. *Biotech* 6(2), 242. <doi: 10.1007/s13205-016-0560-1>
- Jacob J, M Karthik, R Saratale, G Kumar, D Prabakar, K Kadirvelu & A Pugazhendhi. 2018.** Biological approaches to tackle heavy metal pollution: A survey of literature. *Journal of Environmental Management* 217: 56-70.
- Karthik C, M Oves, R Thangabalu, R Sharma, SB Santhosh & PI Arulselvi. 2016.** Cellulosimicrobium funkei-like enhances the growth of *Phaseolus vulgaris* by modulating oxidative damage under Chromium(VI) toxicity. *Journal of Advanced Research* 7(6): 839-850.
- Oves M, MS Khan, AH Qari, MN Felemban & T Almeelbi. 2016.** Heavy metals: biological importance and detoxification strategies. *Journal of Bioremediation and Biodegradation* 7(2): 1-15.
- Park J & S Choi. 2002.** Metal recovery using immobilized cell suspension from a brewery. *Korean Journal of Chemical Engineering* 19(1): 68-74.
- Rodríguez L & D Rivera. 1995.** Efecto del cobre y el cadmio en el crecimiento de *Tetraselmis suecica* (KYLIN) BUTCHER y *Dunaliella salina* TEODORESCO. *Estudios Oceanológicos* 14: 61-74.

- Romera E, F González, A Ballester, M Blázquez & J Muñoz. 2007.** Comparative study of biosorption of heavy metals using different types of algae. *Bioresource Technology* 98(17): 3344-3353.
- Simon F, J Girón, J Rivera, A Vega, G Arce, M Molinos-Senante, H Jorquera, G Flamant, W Bustamante, M Greene, I Vargas, F Suarez, P Pastén & S Cortés. 2023.** Toward sustainability and resilience in Chilean cities: Lessons and recommendations for air, water, and soil issues. *Heliyon* 9(7): 21. <doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18191>
- Terry P & W Stone. 2002.** Biosorption of cadmium and copper contaminated water by *Scenedesmus abundans*. *Chemosphere* 47(3): 249-255.
- Veenstra J, D Sanders & S Ahn. 1999.** Impact of chromium and copper on fixed film biological system. *Journal of Environmental Engineering* 125(6): 522-531.
- Villena J. 2018.** Calidad del agua y desarrollo sostenible. *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública* 35(2): 304-308. <doi: /10.17843/rpmesp.2018.352.3719>
- Wu G, H Kang, X Zhang, H Shao, L Chu & R Chengjiang. 2010.** A critical review on the bio-removal of hazardous heavy metal from contaminated soil: Issues, progress, eco-environmental concerns and opportunities. *Journal of Hazardous Materials* 174(1-3): 1-8.
- Yang J, J Cao, G Xing & H Yuan. 2014.** Lipid production combined with biosorption and bioaccumulation of cadmium, copper, manganese and zinc by oleaginous microalgae *Chlorella minutissima* UTEX2341. *Bioresource Technology* 175: 537-544.
- Zhou G, F Peng, L Zhang & G Ying. 2012.** Biosorption of zinc and copper from aqueous solutions by two freshwater green microalgae *Chlorella pyrenoidosa* and *Scenedesmus obliquus*. *Environmental Science and Pollution Research* 19(7): 2918-2929.

---

Recibido el 4 de abril de 2023

Aceptado el 26 de julio de 2024

Editor: Pilar Muñoz Muga

#### RBMO CITATION STYLE

**Antecao W, J Obreque & R Ramos. 2024.** Evaluación de la capacidad de *Auxenochlorella* sp. (Trebouxiophyceae, Chlorophyta) para la remoción de cobre en soluciones sintéticas *Revista de Biología Marina y Oceanografía* 59(3): 228-233. <https://doi.org/10.22370/rbmo.2024.59.3.4914>