

UNIVERSIDAD CATÓLICA SEDES SAPIENTIAE

FACULTAD DE INGENIERÍA AGRARIA



Biorremediación de cromo hexavalente presente en aguas
residuales de la industria de la curtiembre por microalgas de la
división Chlorophyta

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO
ACADÉMICO DE BACHILLER EN CIENCIAS
AMBIENTALES**

AUTORA

Fiorella Marycielo Cipriano Ramos

ASESOR

Armando Chiclla Salazar

Lima, Perú

2021

I. BIORREMEDIACIÓN DE CROMO HEXAVALENTE PRESENTE EN AGUAS RESIDUALES DE LA INDUSTRIA DE LA CURTIEMBRE POR MICROALGAS DE LA DIVISIÓN CHLOROPHYTA

II. Autores

Responsable

- Fiorella Marycielo Cipriano Ramos

Institución educativa

- Universidad Católica Sedes Sapientiae

Correo de contacto

- Fiorella.cipriano.ramos@gmail.com

III. Resumen descriptivo

La mala disposición de los efluentes líquidos con presencia de cromo por diversas industrias, en especial las curtiembres están generando que haya una contaminación de los cuerpos de agua. Frente a esta problemática, existe la biorremediación por microalgas, la cual es una técnica alternativa de tratamiento de los cuerpos de agua ya que permite reducir y remover las concentraciones de metales pesados, en este caso el cromo hexavalente [Cr (VI)], usando microalgas que tienen un alto potencial biorremediador. Frente a ello, el objetivo que tiene este estudio es revisar e identificar la actividad de las microalgas en especial de la división Chlorophyta para remover el cromo hexavalente. Asimismo, realizar una descripción de la presencia del cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de la curtiembre. En ese sentido, en la metodología se consideró criterios como el uso de artículos científicos no menor a los últimos 5 años y la presentación de dos ejes temáticos (Identificación de la actividad de microalgas Chlorophyta en la biorremediación de cromo hexavalente y la presencia de cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de curtiembre.). La conclusión de esta investigación fue reconocer que las microalgas de la división Chlorophyta tienen un alto potencial biorremediador para las aguas residuales con concentraciones de cromo

hexavalente, siendo una alternativa viable para biorremediación de este metal potencialmente tóxico.

Palabras clave: Biorremediación, microalgas, Chlorophyta, Cromo hexavalente, industria curtiembre.

IV. Introducción

La ONU, menciona que “más del 80 % de las aguas residuales de los países en vías de desarrollo se vierten sin un tratamiento, lo que contamina ríos, lagos y zonas costeras” (UNESCO, 2010). Asimismo, según La Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO), el sector manufacturero es uno de los sectores que genera mayor cantidad de aguas residuales, ya que los datos de algunos países indican que solo una parte de sus aguas residuales de este sector reciben tratamiento antes de ser vertidos a los cuerpos receptores (UNESCO, 2017).

Con respecto a las industrias manufactureras, cabe resaltar que la industria del curtido es una de las más contaminantes, ya que en las operaciones y los procesos generan líquidos y sólidos que se caracterizan por presentar una alta carga orgánica y los agentes químicos que pueden tener efectos tóxicos, tales como el azufre y cromo (Miranda, 2019; Rosales y Rodríguez, 2018).

La presencia de cromo en los cuerpos de agua se da por factores naturales y antropogénicos. En el primer caso, es originado por la degradación de las rocas, ya que este metal se encuentra de forma natural en el medio ambiente (Mena, 2019). Por otro lado, están los factores antropogénicos, específicamente de las diferentes industrias, las cuales descargan sus efluentes sin haber realizado un tratamiento adecuado, también están los sistemas colectores de aguas residuales que no posibilitan la separación de efluentes urbanos e industrias (Arauzo *et al.*, 2003), y por último, los sistemas convencionales para depuración de aguas residuales que presentan deficiencias para remover metales pesados (Trujillo, 2015).

El vertido de aguas residuales con una elevada concentración de cromo, genera una alteración en la calidad de los cuerpos de agua, afectando la morfología de las plantas, ocasionando que estas presenten enanismo y decoloración de sus hojas (Panda &

Choudhury, 2005). Asimismo, provoca graves riesgos a la salud pública como problemas respiratorios, carcinogenicidad y mutagenocidad (OMS, 2019). También, la fauna acuática se ve afectada, ya que aumenta su mortalidad, interviene en sus funciones hormorreguladores y erosión de las escamas (OMS, 2019).

Por ello, frente a estos problemas de contaminación de aguas por cromo, la ciencia e ingeniería ha desarrollado una gran variedad de investigaciones donde utilizan diversas tecnologías de tratamiento. Los métodos convencionales que utilizan para inmovilizar o remover al Cr (VI) son la reducción química utilizando compuestos de azufre o hierro, la eliminación por filtración de membrana, extracción con solventes, lixiviación y procedimientos electrocinéticas, sin embargo, estos métodos tienen ciertas limitaciones debido a que tienen un alto costo económico.

También, están los métodos por adsorción, la cual es un método muy versátil y eficiente que puede eliminar los contaminantes de metales pesados como el cromo (VI) (Mitra *et al.*, 2017). Una de ellas es la investigación realizada en China propuesta por Wang *et al.* (2015), donde utilizaron un compuesto de lignina magnética modificado para adsorber cromo (VI), la cual indica que la eliminación de este metal depende del pH ya que se observó una adsorción óptima a pH 2, y la eficiencia de retención fue del 87 % después de 5 ciclos.

Por otro lado, está la investigación realizada en India por Mitra *et al.* (2017), donde indica que la nanorremediación es una método efectivo y rentable para remediación de cromo (VI), ya que se puede utilizar las nanopartículas de hierro de valor cero (nZVI) las que reducen al cromo hexavalente a su forma trivalente, el cual es menos tóxico.

Otro de los métodos aplicados por la ciencia e ingeniería es la biorremediación, una actividad que es considerada como un tratamiento efectivo económico y amigable con el medio ambiente, porque aplica microorganismos, hongos, plantas o las enzimas derivadas de ellos para la restauración del ambiente. Particularmente, la biorremediación se basa principalmente en la capacidad de los organismos para degradar naturalmente los compuestos contaminantes presentes en aguas residuales, suelos contaminados, gases derivados de las emisiones industriales, etc. (Garzón *et al.*, 2017; Mitra *et al.*, 2017).

En la investigación realizada por Rodríguez *et al.* (2017) utilizaron la biomasa de *Amaranthus caudatus* para la bioadsorción de cromo (VI), la cual resultó muy eficiente ya que la bioadsorción fue de 100 % a una temperatura de 60 °C, en un tiempo de 75 minutos. Otro estudio realizado por Abigail *et al.* (2015) y Rivera *et al.* (2015), determinaron que el uso de hongos como *Aspergillus niger* y *Penicillium griseofulvum* son muy eficientes para remover el Cr (VI) con valores de 100 % y 79.9 %.

Dentro del campo de la biorremediación está el uso de algas verdes, porque poseen la capacidad de acumular metales pesados, los cuales se consideran de alto riesgo debido a su toxicidad y capacidad de acumulación en tejidos vivos como el Cr (VI). Su uso para control de la contaminación está limitado a los factores que presente el medio, como el pH, dureza, cloruros, sulfatos entre otros, estos factores pueden limitar los procesos biológicos de las algas, reduciendo la disponibilidad de oxígeno y por ende la presencia de las algas. Asimismo, las microalgas mediante la biosorción en biomasa viva o muerta tienen alto potencial para reducir los niveles de toxicidad y de transformar los compuestos tóxicos en inocuos (Moreno y Téllez, 2020). También, Arias (2017) indica que las microalgas tienen propiedades remediadoras, ya que estas no generan contaminantes como consecuencia de su proceso, debido a que la biomasa obtenida después del proceso de remediación permite el reciclaje de los nutrientes.

Por tal motivo, el presente trabajo de investigación tiene la finalidad de revisar investigaciones e identificar la actividad de las microalgas Chlorophyta en la biorremediación de cromo hexavalente, y describir la presencia de cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de la curtiembre.

Objetivos

- Revisar investigaciones realizadas sobre la biorremediación de cromo hexavalente por microalgas del grupo de las Chlorophytas durante 2015-2020.
- Identificar la actividad de las microalgas Chlorophyta en la biorremediación de cromo hexavalente.
- Describir la presencia de cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de curtiembre.

V. Metodología

La presente investigación presenta un enfoque de tipo cualitativa la cual se centró en la recolección de información que posteriormente será analizada e interpretada en la discusión y así llegar a una conclusión.

Para la recolección de información se realizó una búsqueda bibliográfica en diversos buscadores académicos como Scielo, Redalyc, Google Académico, Springer Link, ELSEVIER, y repositorios de universidades. Para la organización de información se tuvo en cuenta criterios como el tiempo de la investigación la cual fue como máximo 5 años de antigüedad y posteriormente esta información obtenida de los buscadores fueron organizados por gestores bibliográficos como Mendeley y ficheros electrónicos.

En la búsqueda se consideraron palabras claves como contaminación de aguas por la industria curtiembre, remoción de cromo hexavalente, uso de microalgas para remoción de cromo hexavalente, en el idioma español, y *water pollution by the tannery industry, hexavalent chromium removal, and use of microalgae for removal of hexavalent chromium* en el idioma inglés.

La primera parte de la discusión se centró en base a la información obtenida sobre los tipos de microalgas que se han utilizado hasta el momento en las investigaciones, las aplicaciones y los resultados. Y la segunda parte consistió en descripción de la presencia de cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de curtiembre.

A continuación, en la Tabla 1 se detallan los criterios metodológicos que se siguieron para el desarrollo de la investigación.

Tabla 1

Criterios metodológicos de la investigación

Criterio	Finalidad	Descripción
Pregunta de investigación	la pregunta de investigación será el guía para la búsqueda de información	¿Qué propone la ciencia e ingeniería frente al problema de contaminación de aguas con cromo hexavalente presentes en las aguas residuales de la industria de la curtiembre?
Objetivo	Determina lo que se desea obtener en el estudio	Describir la capacidad de biorremediadora de las microalgas Chlorophyta para remover cromo hexavalente.
Tiempo	Se consideró el periodo de tiempo de los últimos 5 años.	2015-2020
Idioma	La recopilación de información se consideró teniendo en cuenta la transversalidad de idiomas.	Inglés, Español y Portugués
Base de datos	La búsqueda se realizó en buscadores de carácter científico internacional y nacional.	Scielo, Redalyc, Google Academico, Springer Link, ELSEVIER, y repositorios de universidades.
palabras clave	Se seleccionó tres palabras esenciales para la búsqueda en los portales científicos en los diferentes idiomas.	Contaminación de aguas por la industria curtiembre, remoción de cromo hexavalente, uso de microalgas para remoción de cromo hexavalente; y water pollution by the tannery industry, hexavalent chromium removal, and use of microalgae for removal of hexavalent chromium
Ejes temáticos	Se determinó dos ejes temáticos a partir de la identificación de variables del título del presente estudio.	Biorremediación de cromo hexavalente por microalgas Chlorophyta y la presencia de cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de curtiembre.

Fuente: Elaboración propia

VI. Desarrollo y discusión

a. Investigaciones realizadas sobre la biorremediación de cromo hexavalente por microalgas Chlorophyta durante 2015-2020

Las investigaciones recopiladas sobre la biorremediación de cromo hexavalente por microalgas Chlorophyta fueron obtenidas de las siguientes fuentes bibliográficas: Elsevier, Springer link, Repositorios de universidades (Universidad Politécnica Salesiana, Universidad de Guayaquil), TECCIENCIA, Unioeste, Revista Ingeniería y Ciencia, y IOP Publishing. Asimismo, la búsqueda de información estuvo en el rango del 2015 – 2020. Frente a ello, se ha recopilado en total 21 referencias sobre el tema, la cual se muestra en la Tabla 2.

En la Tabla 2, se puede evidenciar que a nivel de Latinoamérica solo Colombia, Ecuador y Brasil, han desarrollado investigaciones utilizando las microalgas para la remoción de cromo hexavalente de los cuerpos de agua. También, se rescata que algunos países asiáticos como China, India, desarrollan continuamente investigaciones para encontrar una solución más amigable y viable frente a los problemas de contaminación por cromo hexavalente. Asimismo, se puede decir que a nivel de Perú las investigaciones con respecto al tema propuesto son escasas, ya que no se ha encontrado referencias a nivel nacional.

Tabla 2

Investigaciones científicas sobre biorremediación de cromo hexavalente por acción de microalgas Chlorophyta

Base de datos	País	Autor	Año de publicación	Nombre de artículo
Elsevier	China	Chen <i>et al</i>	2016	Reduction of Cr (VI) into Cr (III) by organelles of <i>Chlorella vulgaris</i> in aqueous solution: An organelle-level attempt
Elsevier	India	Sibi, G.	2016	Biosorption of chromium from electroplating and galvanizing industria effluents under extreme conditions using <i>Chlorella vulgaris</i>
Springer Link	India	Das <i>et al</i>	2017	Bioremediation of tannery wastewater by a salt-tolerant strain of <i>Chlorella vulgaris</i>
Elsevier	China	Yen <i>et al</i>	2017	The use of autotrophic <i>Chlorella vulgaris</i> in chromium (VI) reduction under different reduction conditions
Universidad Politécnica Salesiana	Bolivia	Arias, A	2017	Análisis de remoción de cromo por acción de la microalga <i>Chlorella sp.</i> inmovilizada en perlas de alginato
IOP Publishing	Colombia	Ardila <i>et al</i>	2017	Sorption Capacity Measurement of <i>Chlorella vulgaris</i> and <i>Scenedesmus acutus</i> to Remove Chromium from Tannery Waste Water

Ingeniería y Ciencia	Colombia	Rosales <i>et al</i>	2018	Remoción de contaminantes y crecimiento del alga <i>Scenedesmus</i> sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas
Universidad de Guayaquil	Ecuador	Bobadilla & Álvarez	2018	Evaluación del uso de la <i>Chlorella vulgaris</i> en la remoción de cromo hexavalente, demanda química del oxígeno en aguas residuales de industrias papeleras a nivel de laboratorio
Elsevier	India	Daneshvar <i>et al</i>	2019	Hexavalent chromium removal from water by microalgal-based materials: Adsorption, desorption and recovery studies
Universidad Politécnica Salesiana	Bolivia	Mena, D.	2019	Evaluación de la respuesta fisiológica de la microalga <i>Chlorella</i> sp. A la presencia de metal cromo (VI) en aguas sintéticas.
Water	Polonia	Sutkowy & Klosowski	2018	Use of the coenobial green algae <i>Pseudopediastrum boryanum</i> (Chlorophyceae) to remove hexavalent chromium from contaminated aquatic ecosystems and industrial wastewaters
Springer Link	Turquía	Ozer <i>et al</i>	2012	Biosorption of Cr (VI) by free and immobilized <i>Pediastrum boryanum</i> biomass: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies
Elsevier	Republica Checa	Kováčik <i>et al</i>	2015	Physiology and methodology of chromium toxicity using alga <i>Scenedesmus quadricauda</i> as model object

Unioeste	Brasil	Gottens, Alejandro	2019	Biossorção do cromo trivalente e hexavalente proveniente do curtume utilizando a microalga <i>Scenedesmus sp.</i>
Elsevier	India	Pradhan <i>et al</i>	2018	Biosorption for removal of hexavalent chromium using microalgae <i>Scenedesmus sp.</i>
TECCIENCIA	Colombia	Ballén <i>et al</i>	2016	Using <i>Scenedesmus sp.</i> for the Phycoremediation of Tannery Wastewater
Pakistán Journal of Science	Pakistán	Batool <i>et al</i>	2017	Bioremediation of hexavalent chromium by free and immobilized
Journal of Ecological Engineering	Indonesia	Tangahu <i>et al</i>	2020	Deconcentration of Chromium Contained in Wastewater Using a Bacteria and Microalgae Consortia with a High Rate Algal Reactor System
Springer India	India	Nath <i>et al</i>	2017	Microalgal consortia differentially modulate progressive adsorption of hexavalent chromium
Indian Journal of Natural Sciences	India	Adinath <i>et al</i>	2015	Chromium Induced Alterations in Different Individual Microalga and their Consortia

Fuente: Elaboración propia

b. Identificación de la actividad de las microalgas Chlorophyta en la biorremediación de cromo hexavalente de las fuentes bibliográficas del periodo 2015-2020

Chen *et al.*, (2016), en su trabajo de investigación “*Reduction of Cr (VI) into Cr (III) by organelles of Chlorella vulgaris in aqueous solution: An organelle-level attempt*” tuvo como objetivo reducir Cr (VI) a Cr (III) por acción de la microalga *Chlorella vulgaris* en disoluciones acuosas, cuyos resultados fueron la reducción óptima de cromo en un 90 a 95 % por la microalga a una concentración de 17 µg/ml. Similar estudio fue desarrollado por Yen *et al.* (2017), cuyo objetivo también fue estudiar la reducción de Cr (VI) a Cr (III) por acción de *Chlorella vulgaris* con una concentración de 2 g/L de la microalga, cuyos resultados obtenidos indican que esta especie tiene un alto potencial para reducir hasta un 100 % del Cr (VI). En este sentido, se concluye que *Chlorella vulgaris* es óptima para reducir el cromo hexavalente a cromo trivalente.

Asimismo, otros investigadores desarrollaron estudios con *Chlorella vulgaris*, uno de ellos es Sibi, (2017), quien trabajó con *Chlorella vulgaris* con el objetivo de eliminar el Cr (VI) de las aguas residuales de la industria de galvanizado, cuyo resultado fue una reducción óptima de cromo desde un 50.7 % a 80.3 % por la microalga a una concentración de 1 g/L de biomasa. Similar actividad ha sido investigada por Bobadilla & Álvarez, (2018), cuyo objeto de estudio fue la remoción de Cr (VI) de las aguas residuales de la industria papelera por acción de *C. vulgaris* con una concentración de $1.75 \cdot 10^3$ cel/ml, en cual obtuvieron una remoción de 83.51 % del metal.

También, Arias (2017), realizó una investigación con la microalga *Chlorella*, cuyo objetivo fue remover Cr (VI) por acción de la microalga *Chlorella* sp. inmovilizada en alginato de sodio en disoluciones acuosas, cuyos resultados fueron la reducción óptima de cromo en un 61 % a una concentración de 10 ppm del metal y $25 \cdot 10^6$ cel. /ml de la microalga. Similar actividad ha sido investigada por Mena (2019), quien trabajó con *Chlorella* sp. a diferentes concentraciones donde determinó que a concentraciones menores a 15 mg/L de metal se obtiene una óptima remoción con una concentración de $10 \cdot 10^6$ cel. /ml de la microalga. Asimismo, ambos autores indican que para lograr una óptima remoción se debe de tener en cuenta la concentración del metal y el pH.

Rosales *et al.* (2018) realizaron una investigación cuyo objetivo fue remover el cromo hexavalente por acción de la microalga *Scenedesmus* sp. como células libres e inmovilizadas en disoluciones acuosas, cuyos resultados fueron la remoción de un 40 y 53 % de cromo tanto en células libres e inmovilizadas. Similar actividad ha sido investigada por Gottems (2018), quien trabajó con la microalga *Scenedesmus* sp. para remover el cromo (VI), donde determinó que la microalga remueve hasta un 91.53 % del metal cuando esta presenta una concentración de 10 mg/L con una concentración celular de $7.5 \cdot 10^6$ cel/ml. En ese sentido, se puede apreciar que hay una diferencia significativa con respecto a la remoción del metal por las especies investigadas.

Por otro lado, Pradhan (2018) en su trabajo de investigación “*Biosorption for removal of hexavalent chromium using microalgae Scenedesmus sp*”, cuyo objetivo fue eliminar el cromo hexavalente de las aguas de mina por acción de la microalga *Scenedesmus* sp demostraron en sus resultados que la biomasa de *Scenedesmus* sp. tuvo una alta biosorción de Cr (VI) logrando eliminar un 92.89 % de Cr (VI). Similar a este estudio fue desarrollado por Ballen *et al.* (2016), quien en su trabajo de investigación “*Using Scenedesmus sp. for the Phycoremediation of Tannery Wastewater*”, buscó eliminar el Cr (VI), nitratos, fosfatos y DBO por acción de la microalga *Scenedesmus* sp. sometiéndolo a tres disoluciones diferentes de agua residual (20, 50 y 100 %) en una curtiduría de Bogotá. Los resultados demostraron que el crecimiento de la microalga en aguas residuales es proporcional a la dilución del efluente, logrando una eliminación mayor al 98 % de Cr (VI), 90 % nitratos, 99 % fosfatos y 88 % DBO. En ese sentido, concluyó que la microalga *Scenedesmus* sp. tiene un gran potencial para eliminar el Cr (VI), pero que se debe de tener en cuenta ciertos parámetros básicos que influyen en la remoción.

En ese mismo enfoque, Ardilla *et al.* (2017), realizaron una investigación cuyo objetivo fue evaluar la capacidad de biosorción de cromo por acción de dos microalgas que son *Chlorella vulgaris* y *Scenedesmus acutus*, cuyos resultados obtenidos fueron que *C. vulgaris* eliminó un 88.2 % de cromo a un pH de 4.5 con una concentración de 2.34 g/L de la microalga, mientras *S. acutus* eliminó un 87.1 % a un pH de 5, con una concentración de 2.0 g/L de la microalga. Similar trabajo desarrolló Daneshvar *et al.* (2019), pero con otra especie que es *Scenedesmus quadricauda*, cuyo objetivo fue eliminar el cromo (VI) con diferentes materiales a base de esta microalga como biomasa de microalgas vivas y biochar de la misma microalga, cuyos resultados obtenidos indican que esta especie de

microalga removi6 hasta un 100 % de cromo con la biomasa seca a diferencia de la biomasa viva donde se obtuvo una remoci6n de 68 %.

Asimismo, Kováčik *et al.* (2015) nos indican que *Scenedesmus quadricauda* tiene un gran potencial para acumular el cromo hexavalente en un 80 a 82 % cuando la concentraci6n de cromo es de 1 μM y de 41 a 65 % cuando la concentraci6n de Cr (VI) es de 10 μM . Por ende, se puede concluir que el uso de especies del g6nero *Scenedesmus* es 6ptima para la remoci6n del cromo hexavalente, la cual se puede utilizar en biomasa viva o seca, debiendo considerarse factores como el pH, la cantidad de biomasa, la concentraci6n del metal.

Sutkow y Klosowski, (2018) realizaron una investigaci6n cuyo objetivo del estudio fue evaluar el uso potencial de la biomasa seca *Pseudopediastrum boryanum* en el proceso de biosorci6n de iones de cromo (VI), para ello utilizaron concentraciones de biomasa de 2 g/L y concentraciones bajas de 10 a 100 mg/L de Cr (VI). Cuyos resultados indican que la mayor remoci6n del orden del 70 % se obtuvo cuando la concentraci6n inicial de cromo es de 10 mg/L, asimismo, indican que a medida que se incrementa la concentraci6n de cromo la capacidad de sorci6n disminuye. Similar actividad fue desarrollada por Ozer *et al.* (2012), quienes trabajaron con la microalga *Pediastrum boryanum* libres e inmovilizadas en alginato para remover Cr (VI), utilizaron una concentraci6n de 1 g de biomasa de algas, cuyos resultados indican una remoci6n 6ptima del 97 % del Cr (VI) cuando la microalga esta inmovilizada en alginato. En ese sentido, se puede concluir que en ambos casos se logra una remoci6n 6ptima, pero esto va a depender cuanta concentraci6n del metal hay en el agua residual, ya que, si la concentraci6n es elevada, la capacidad de remoci6n de la microalga tiende a disminuir.

Por otro lado, tambi6n se han desarrollado investigaciones donde proponen el uso de un consorcio bacteriano con microalgas. En ese sentido, Akram *et al.* (2017) en su trabajo de investigaci6n “*Bioremediation of hexavalent chromium by free and immobilized biomass of Chlorella and Pseudomonas*”, tuvo como objetivo analizar la cepa bacteriana S7, que es una especie de *Pseudomonas*, resistente al Cr (VI) en combinaci6n con *Chlorella* para observar la relaci6n mutualista para los procesos de remediaci6n. Sus resultados demostraron que la eliminaci6n es eficaz, ya que indican que fueron capaces de tolerar el estr6s por Cr (VI) hasta 600 $\mu\text{g} / \text{ml}$ y mostraron una reducci6n 6ptima de Cr

(VI) de 100 $\mu\text{g} / \text{ml}$. Asimismo, utilizaron alginato de sodio (2%) para inmovilización de S7 y *Chlorella*, donde la eliminación de Cr (VI) por las células inmovilizadas fue de 4.5 mg/g y 6.20 mg/g, con un potencial de reducción de 58 % y 60 % respectivamente.

En este mismo enfoque de utilizar consorcios microbianos y microalgas, Tangahu *et al* (2020) en su trabajo de investigación “*Deconcentration of Chromium Contained in Wastewater Using a Bacteria and Microalgae Consortia with a High Rate Algal Reactor System*”, determinaron el porcentaje de eliminación de cromo por un consorcio de bacterias y microalgas y fijaron la mejor relación entre estos dos tipos de microorganismos en términos de reducción de contaminantes. Las especies de microalgas y bacterias que utilizaron fue *Chlorella vulgaris* y *Azotobacter* S8, asimismo, estas fueron sometidas a 5 concentraciones de cromo (0, 10, 25, 50, 100 y 200 mg / L en 250 ml). Sus resultados demostraron que la remoción es óptima cuando la proporción de microorganismos es de 50:50, obteniéndose una eliminación de 18.68 % del cromo hexavalente. Se concluyó que las especies presentan una alta tolerancia y tienen una alta eficiencia para remover el cromo.

Asimismo, hay estudios donde han aplicado consorcios de microalgas para la remoción de cromo hexavalente. En un primer caso está el estudio desarrollado por Adinath *et al.* (2015), cuyo objetivo fue utilizar consorcios de diferentes microalgas para ver su potencialidad de adsorción de cromo y producción de masa. Los especies que utilizaron fueron *Chlorella* sp., *Scenedesmus dimorphus* y *Oscillatoria* sp., *Lyngbya* sp, las cuales fueron sometidas a diferentes concentraciones de cromo. En sus resultados demostraron que *Chlorella* y *Lyngbya* tenían buena tolerancia al Cr entre todos los organismos, ya que toleran hasta 5 ppm de cromo, asimismo, indican que el crecimiento de los consorcios después de 20 días se ve afectada cuando la dosis de cromo es superior a 1 ppm.

Similar a esta investigación desarrolló Nath *et al.* (2017), específicamente para eliminar el cromo hexavalente con el mismo consorcio de microalgas antes ya aplicado, y a cuatro concentraciones de Cr (VI) (0.5, 1.0, 3.0 y 5.0 ppm). Aplicaron tres tipos diferentes de monocultivos y consorcios, prepararon células vivas, células muertas por calor y células pretratadas con el fin de mejorar el potencial de adsorción. En sus resultados demostraron que se obtuvo una adsorción máxima del 112 % cuando la dosis de cromo era de 1.0 ppm, sin embargo, cuando la dosis de cromo aumenta las microalgas se ven afectadas y esto

debido a que hay una alteración del complejo de antenas de captación de luz del PSII lo cual generó una disminución en la fluorescencia.

c. Descripción de la presencia de cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de la curtiembre

El cromo es un metal que se puede presentar en varios estados de oxidación, pero las formas más estables y comunes son las especies de Cr (III) y Cr (VI), las cuales presentan propiedades químicas muy diferentes. El Cr (III) se presenta en forma de óxidos, hidróxidos o sulfatos, es menos móvil y está ligado principalmente a la materia orgánica de los suelos y los medios acuáticos. Por otro lado, el Cr (VI) es considerada la más toxica, es un oxidante fuerte y en presencia de materia orgánica se reduce a Cr (III), esta transformación es muy rápida en ambientes ácidos. Asimismo, cabe recalcar que si el Cr (VI) se presenta en niveles altos en el medio ambiente puede superar su capacidad reductora y persistir como contaminante; también, el Cr (III) puede oxidarse a Cr (VI) en presencia de un exceso de oxígeno, siendo este nuevamente tóxico (Cervantes *et al.*, 2001).

El cromo se puede encontrar de forma natural en el ambiente pero a concentraciones bajas ya sea en rocas, plantas, suelos, animales, en humos y gases volcánicos, y esta puede ser transportada a los cuerpos de agua de forma natural a causa del viento (Arias, 2017; Miranda, 2019).

Mitra *et al.* (2017), explica que el cromo hexavalente es utilizado por diversas industrias como la galvanoplastia, la curtiduría, las pinturas, el petróleo y el teñido, el cual está presente para su uso principalmente como ión cromato, el uso de este metal va a generar efluentes industriales que van a contener el Cr (VI) que posteriormente serán liberados en cuerpos de agua sin un previo tratamiento.

La industria de la curtiduría es una de las industrias que descarga un volumen considerable de aguas residuales que contaminan a los cuerpos de agua. Entre las contaminantes que presentan estos efluentes, se encuentran los sulfuros y las sales de cromo, que son producto del proceso de pelambre y curtido de pieles (Quisca, 2002).

Anteriormente, se practicaba el proceso de curtido vegetal la cual era un método más amigable con ambiente, sin embargo, este método fue reemplazado por el cromo debido a que este proceso tarda entre 1 y 2 meses en obtener un buen producto por lo que requería mayor artesanía, trabajo y supervisión, asimismo, generaba mayor cantidad de residuos sólidos y aguas residuales pero que eran consideradas respetuosas con el medio ambiente debido a la biodegradabilidad. Por ello, se da la necesidad de optar por otro método y es ahí donde en el año 1958 empiezan a utilizar el proceso de curtido por cromo debido a que tenían que cortar el costo de producción y satisfacer la demanda del producto, ya que mediante este método se puede lograr en solo un día el curtido del cuero mediante una solución química la cual contenía principalmente el cromo (Dabai *et al.*, 2020; Quisca, 2002).

El proceso de curtido consiste en 3 etapas que son: ribera, curtido y acabado. Estas etapas pueden variar según el tipo de piel, la tecnología disponible y las características finales a conseguir en el cuero. De todas estas etapas, las sales de cromo se empiezan a utilizar en la etapa de curtido, esta etapa consiste en dos sub-etapas, la primera es la curtición que consiste en estabilizar el colágeno y la segunda es el recurtido donde se busca conferir a la piel ya curtida todas las características necesarias según el artículo o producto que se quiere obtener (Zapana, 2018). Asimismo, en el proceso de curtido se emplean aproximadamente 500 kilos de productos químicos para procesar una tonelada de cuero crudo, sin embargo, se calcula que un 85 % de estos no se incorporan en el cuero acabado (Apaza *et al.*, 2020).

Zewdu *et al.* (2018), cita a Esmaeili *et al.* (2005), quien indica que la cantidad de cromo agregada para el curtido es aproximadamente el 8 % del peso del cuero, del cual solo una pequeña porción del cromo agregado (60 a 70 %) se fija en el cuero, y el resto es descargado a los cuerpos de agua generando una contaminación ambiental. Asimismo, Zewdu indica que Etiopía es el segundo país del mundo donde el número de industrias en general y específicamente las curtidorías están creciendo drásticamente, y esto podría contaminar el medio ambiente al descargar efluentes no tratados.

Un caso muy particular acerca de la presencia a altas concentraciones de cromo hexavalente en los cuerpos de agua generado por las curtiembres, se da en Bangladesh donde operan más de 270 curtidorías y estas realizan las descargas de sus efluentes a los

ríos y lagunas aledañas como es el río Buriganga en Daka, asimismo, se dice que estas curtiembres descargan 1.6 toneladas de cromo por día a los cuerpos receptores, lo cual está generando alteración al medio ambiente y la salud de la población (Rahman et al., 2020).

En el Perú, la industria de curtiembre tanto formal como informal se desarrolla principalmente en las ciudades de Trujillo, Arequipa y Lima. En Arequipa en el Parque Industrial de Riso Seco (PIRS) se encuentran curtiembres cuyos efluentes son desechados sin tratamiento a canales que se dirigen a la quebrada de Añashuayco (Zapana, 2018), afectando el suelo y cuerpos de agua por donde discurre. Esta actividad se ha desarrollado por mucho tiempo en la informalidad, es debido a ello que el MITINCI ha recomendado a estas industrias que instalen plantas de tratamiento de aguas residuales comunes y plantas de reciclaje de cromo, sin embargo, las empresas no han puesto en marcha esta recomendación, por lo que está generando que se proliferen las empresas informales en diversas localidades vertiendo sus efluentes sin un previo tratamiento, provocando que se eleven los niveles de contaminación de los ríos (Rey de Castro Rosas, 2013) .

Rosas (2019) realizó un estudio de caracterización de efluentes provenientes de curtiembres del Parque Industrial Río Seco en Arequipa. En ella, registró que los efluentes presentan una elevada concentración de varios parámetros, siendo 20.07 mg/L para cromo total y 0.390 ml/L cromo hexavalente, las cuales superan los límites que establece el D.S N° 003 – 2002 – PRODUCE y que se detallan en la Tabla 3.

Tabla 3

Caracterización de efluentes de curtiembres del Parque Industrial Río Seco

N°	Parámetro	Unidad	Decreto Supremo	Resultados
			N° 003-2002- PRODUCE	EM-1
1	pH	-	5.0 – 8.5	7.0
2	Temperatura	°C	35	33
3	Sólidos suspendidos totales	mg/l	30	1175
4	Aceites y grasas	mg/l	20	212.6
5	DBO5	mg/l	30	753
6	DQO	mg/l	50	5013
7	Sulfuros	mg/l	0.5	3.9
8	Cromo VI	mg/l	0.2	0.390
9	Cromo Total	mg/l	0.5	20.07
10	N-NH4	mg/l	10	1.42
11	Coliformes fecales	NMP/1 00ml	1,000	2'200'000'00 0
12	Cadmio	mg/l	-	<0.003
13	Plomo	mg/l	-	0.08

Fuente: Rosas (2019)

VII. Conclusiones

- Al revisar las investigaciones sobre biorremediación de Cr (VI) por las microalgas de la división Chlorophyta, se evidenció que se han estado desarrollando investigaciones de forma progresiva en los últimos 5 años en 11 países, siendo los países asiáticos con mayor registro de investigación. Asimismo, se puede evidenciar que en Perú la investigación con respecto a esta división Chlorophyta es muy escasa, ya que no se ha encontrado registro en las fuentes consultadas.
- Se evidenció que hay una gran variedad de microalgas de la división Chlorophyta que presentan una eficiente actividad biorremediadora ante el cromo hexavalente (Cr (VI)). Siendo, las microalgas del género *Chlorella* y *Scenedesmus* las más eficaces, ya que se registró remociones óptimas desde 80 a 100 % para *Chlorella vulgaris* y 40 a 98 % para *Scenedesmus* sp. Asimismo, para lograr una óptima y eficiente remoción del Cr (VI) se deben de considerar algunos factores como el pH que debe de estar en un rango de 6-8, la concentración del metal (<10 mg/L) y la biomasa.
- La presencia del cromo hexavalente en las aguas residuales de la industria de las curtiembres es debido al uso de sales de cromo que utilizan en la etapa de curtido, las cuales posteriormente son descargas a los cuerpos receptores sin ningún tratamiento generando alteración al medio, tal como lo refieren las investigaciones consultadas.

IX. Referencias

- Abigail M, E. A., Samuel, M. S., y Chidambaram, R. (2015). Hexavalent chromium biosorption studies using *Penicillium griseofulvum* MSR1 a novel isolate from tannery effluent site: Box-Behnken optimization, equilibrium, kinetics and thermodynamic studies. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 49, 156-164. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2014.11.026>
- Adinath, A., Shailendra, K., y Shanthy, S. (2015). Chromium Induced Alterations in Different Individual Microalga and their Consortia. *Indian Journal of Natural Sciences*, 6(32). <https://www.researchgate.net/publication/282975252%0AChromium>
- Akram, S., Batool, R., y Kalsoom, A. (2017). Bioremediation of hexavalent chromium by free and immobilized bioremediation of hexavalent chromium by free and immobilized. *Pakistan Journal of Science*, 69, 291-297. [https://www.researchgate.net/publication/320299357%](https://www.researchgate.net/publication/320299357%0A)
- Apaza, H., Daniel, E., Monteagudo, C., Katherine, D., Colpaert, C., Rodolfo, F., y Chambi, H. (2020). *Model of a treatment system for effluents from the tannery industry*. 051, 1647-1658. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.26788/riepg.2020.3.180>
- Arauzo, M., Rivera, M., Valladolid, M., Noreña, C., y Cedenilla, O. (2003). Contaminación por cromo en el agua intersticial, en el agua del cauce y en los sedimentos del río Jarama. *Asociación Española de Limnología*, 22, 87-100. <http://hdl.handle.net/10261/35521>
- Arias, A. M. (2017). *Análisis de remoción de cromo por acción de la microalga *Chlorella* sp. Inmovilizada en perlas de alginato* [Universidad Politécnica Salesiana]. <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5081/1/UPS-CYT00109.pdf>
- Ballén-segura, M., Rodríguez, L. H., Ospina, D. P., Bolaños, A. V., y Pérez, K. (2016). *Using *Scenedesmus* sp. for the Phycoremediation of Tannery Wastewater*. 12(21), 69-75. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.18180/tecciencia.2016.21.11>

- Cervantes, C., Campos, J., Devars, S., Moreno-sa, R., Gutierrez, F., Loza-tavera, H., y Torres-guzma, J. C. (2001). *Interactions of chromium with microorganisms and plants*. 25. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.2001.tb00581.x>
- Chen, Z., Song, S., y Wen, Y. (2016). Reduction of Cr (VI) into Cr (III) by organelles of *Chlorella vulgaris* in aqueous solution: An organelle-level attempt. *Science of the Total Environment*, 572, 361-368. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.07.217>
- Dabai, A. I., Mohammed, K., Polytechnic, F., y Namoda, K. (2020). *Chromium removal from tannery wastewater : a review*. 3(1), 63-73. <http://myjms.mohe.gov.my/index.php/pjst/article/view/8483>
- Daneshvar, E., Zarrinmehr, M. J., Kousha, M., Hashtjin, A. M., Saratale, G. D., Maiti, A., Vithanage, M., y Bhatnagar, A. (2019). Hexavalent chromium removal from water by microalgal-based materials: Adsorption, desorption and recovery studies. *Bioresource Technology*, 293, 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122064>
- Das, C., Naseera, K., Ram, A., Meena, R. M., y Ramaiah, N. (2017). Bioremediation of tannery wastewater by a salt-tolerant strain of *Chlorella vulgaris*. *Journal of Applied Phycology*, 29(1), 235-243. <https://doi.org/10.1007/s10811-016-0910-8>
- Garzón, J. M., Pablo, J., Miranda, R., y Gómez, C. H. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y Salud*, 19(2), 309. <https://doi.org/10.22267/rus.171902.93>
- Gottens, A. (2019). *Biossorção do cromo trivalente e hexavalente proveniente do curtume utilizando a microalga Scenedesmus sp.* [Universidad e Estadual Do Oeste Do Paraná].
- Kováčik, J., Babula, P., Hedbavny, J., Kryštofová, O., y Provazník, I. (2015). Physiology and methodology of chromium toxicity using alga *Scenedesmus quadricauda* as model object. *Chemosphere*, 120, 23-30. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2014.05.074>

- Mena, D. V. (2019). *Evaluación de la respuesta fisiológica de la microalga Chlorella sp. A la presencia de metal cromo (VI) en aguas sintéticas*. [Universidad Politécnica Salesiana]. <https://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17413>
- Miranda, K. X. (2019). *Efecto de diferentes concentraciones de Pseudomonas sp en la biorreducción de cromo VI en agua residual de curtiembre de la provincia de Trujillo, 2017* [Universidad Nacional del Santa]. <http://repositorio.uns.edu.pe/handle/UNS/3200>
- Mitra, S., Sarkar, A., y Sen, S. (2017). Removal of chromium from industrial effluents using nanotechnology : a review. *Nanotechnology for Environmental Engineering*, 2(1), 1-14. <https://doi.org/10.1007/s41204-017-0022-y>
- Moreno, C., y Téllez, E. (2020). *Evaluación del potencial de biosorción de Cromo mediante microalgas nativas aisladas del Rio Tunjuelito en Bogotá D.C, para descontaminación por cromo hexavalente* [Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD)]. <https://repository.unad.edu.co/handle/10596/36737>
- Nath, A., Kumar, P., Rai, K., y Sundaram, S. (2017). Microalgal consortia differentially modulate progressive adsorption of hexavalent chromium. *Physiology and Molecular Biology of Plants*, 23(2), 269-280. <https://doi.org/10.1007/s12298-017-0415-1>
- OMS. (2019). Chromium in Drinking-water. En *World Health Organization 201x* (Número September). https://www.who.int/water_sanitation_health/water-quality/guidelines/chemicals/draft-chromium-190924.pdf
- Ozer, T. B., Erkaya, I. A., Udoh, A. U., Duygu, D. Y., Akbulut, A., Bayramoglu, G., y Arica, M. Y. (2012). Biosorption of Cr (VI) by free and immobilized *Pediastrum boryanum* biomass: Equilibrium, kinetic, and thermodynamic studies. *Environmental Science and Pollution Research*, 19(7), 2983-2993. <https://doi.org/10.1007/s11356-012-0809-0>
- Panda, S. ., y Choudhury, S. (2005). Chromium stress in plants. *SciELO*, 0, 95-102. <https://doi.org/https://doi.org/10.1590/S1677-04202005000100008>

- Pavithra, K. G., Kumar, P. S., Jaikumar, V., Vardhan, K. H., y SundarRajan, P. S. (2020). Microalgae for biofuel production and removal of heavy metals: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 18(6), 1905-1923. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01046-1>
- Pradhan, D., Sukla, L. B., Mishra, B. B., y Devi, N. (2018). Biosorption for removal of hexavalent chromium using microalgae *Scenedesmus* sp. *Journal of Cleaner Production*. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.288>
- Quisca, A. A. (2002). *Medidas y tratamientos preventivos aplicables a la industria del cuero para reducir el consumo de insumos químicos y la carga de contaminantes de sus efluentes* [Universidad Nacional de Ingeniería]. <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/8149>
- Rahman, H., Hoque, N., Sarker, P. K., y Safa, A. (2020). MIJST Assessment of Hexavalent Chromium Pollution in Buriganga and Dhaleshwari River Waterbodies Adjacent to Tannery. *MIST International Journal of Science and Technology*, 08(June), 11-15. [https://doi.org/https://doi.org/10.47981/j.mijst.08\(01\)2020.160\(11-15\)](https://doi.org/https://doi.org/10.47981/j.mijst.08(01)2020.160(11-15))
- Rey de Castro Rosas, A. C. (2013). *Recuperación de cromo (III) de efluentes de curtido para control ambiental y optimización del proceso productivo* [Pontificia Universidad Católica Del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/5123>
- Rivera-Martínez, E., Cárdenas-González, J. F., Martínez-Juárez, V. M., y Acosta-Rodríguez, I. (2015). Remoción de cromo (VI) por una cepa de *Aspergillus Niger* resistente a cromato. *Informacion Tecnologica*, 26(4), 13-20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642015000400003>
- Rosales, A. G., y Rodríguez, C. D. (2018). *Remoción de contaminantes y crecimiento del alga Scenedesmus sp. en aguas residuales de curtiembres, comparación entre células libres e inmovilizadas*. 14(28), 11-34. <https://doi.org/10.17230/ingciencia.14.28.1>
- ROSAS, Y. (2019). *Caracterización y remoción de cromo (III) de aguas residuales de curtiembres del Parque Industrial de Rio Seco utilizando hueso de olivo (Olea*

europaea) procesado como biosorbente [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://doi.org/http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/9250>

Sutkowy, M., y Klosowski, G. (2018). Use of the coenobial green algae *Pseudopediastrum boryanum* (Chlorophyceae) to remove hexavalent chromium from contaminated aquatic ecosystems and industrial wastewaters. *Water (Switzerland)*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/w10060712>

Tangahu, B. V., Berlianto, M., Agung, A., y Kartika, G. (2020). Deconcentration of Chromium Contained in Wastewater Using a Bacteria and Microalgae Consortia with a High Rate Algal Reactor System. *Journal of Ecological Engineering*, 21(8), 272-284. <https://doi.org/https://doi.org/10.12911/22998993/126878>

Trujillo, C. (2015). *Eliminación de cromo (vi) de medios acuosos mediante biosorción con hueso de aceituna: escalado del proceso y aplicación a la depuración de aguas reales* [Universidad de Granada]. <http://hdl.handle.net/10481/40650>

UNESCO. (2010). El agua en un mundo en constante cambio. En *Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura*.

UNESCO. (2017). *Aguas residuales el recurso desaprovechado*.

Yen, H. W., Chen, P. W., Hsu, C. Y., y Lee, L. (2017). The use of autotrophic *Chlorella vulgaris* in chromium (VI) reduction under different reduction conditions. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 74, 1-6. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2016.08.017>

Zapana, S. V. (2018). *Biorremediación de efluentes de curtiembres mediante hongos aislados del parque industrial de río seco (PIRS) – Arequipa, en condiciones de biorreactor tipo AIRLIFT* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/7322>

Zewdu, F., y Amare, M. (2018). Determination of the level of hexavalent, trivalent, and total chromium in the discharged effluent of Bahir Dar tannery using ICP-OES and UV – Visible spectrometry Determination of the level of hexavalent, trivalent, and

total chromium in the discharg. *Cogent Chemistry*, 4(1), 1-9.
<https://doi.org/10.1080/23312009.2018.1534566>