



Universidad **César Vallejo**

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Biosorción de cromo de efluentes de la industria textil mediante
el uso de microalgas en la ciudad de Arequipa - 2022**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERA AMBIENTAL

AUTORA:

Sumalave Cutire, Cristal Lucero (ORCID: 0000-0003-1828-4235)

ASESOR:

Mgtr. Reyna Mandujano, Samuel Carlos (ORCID: 0000-0002-0750-2877)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

Primeramente, el siguiente proyecto lo dedico a Dios y a mi familia quienes están presentes y fueron mi guía, siempre estuvieron a mi lado alentándome para seguir con todos mis proyectos y culminar con mis estudios.

Agradecimiento

Sobre todo, gracias a Dios por permitir que este trabajo de investigación se complete con éxito. También agradezco a mi familia, que ha sido mi motivación incondicional. Además, gracias a quienes confiaron en mi para terminar el trabajo de investigación.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas.....	v
Índice de figuras.....	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO	5
III. METODOLOGÍA	17
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	17
3.2. Variables y operacionalización	18
3.3. Población (criterios de selección), muestra, muestreo, unidad de análisis	19
3.4. Técnicas e instrumentos.....	19
3.5. Procedimientos.....	20
3.6. Métodos de análisis de datos	21
3.7. Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS	22
V. DISCUSIÓN	31
VI. CONCLUSIONES	34
VII. RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 01: Resumen de dosis de cada tratamiento.....	21
Tabla 02: Medio de cultivo preparado para microalgas <i>Chlorella vulgaris</i> .	23
Tabla 03: Medio de cultivo preparado para microalgas <i>Spirulina platensis</i>	23
Tabla 04: Características de cultivo de microalga <i>Chlorella</i>	24
Tabla 05: Características del cultivo de microalga <i>Spirulina</i>	24
Tabla 06: Valores de Cromo en las muestras de efluente en diferentes fechas	26
Tabla 07: Resultados Luego de aplicar las Dosis de Microalga <i>Chlorella</i> ..	28
Tabla 08: Resultados Luego de aplicar las Dosis de Microalga <i>Spirulina</i> ..	39

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 01: Información química de Cromo	9
Figura 02: Usos industriales del cromo	10
Figura 03: Vista al microscopio de spirulina platensis.....	14
Figura 04: Vista al microscopio de chlorella vulgaris	15
Figura 05: Vista al microscopio de Espirulina adquirida a 400x	22
Figura 06: Vista al microscopio de Chlorella adquirida a 400x	22
Figura 07: Ubicación de la planta Michell SA.....	25
Figura 08: Frontis del lugar de la planta.....	25
Figura 09: Medición de cepas inoculadas en medio de cultivo	26
Figura 10: Cultivos en crecimiento en cada muestra de efluente y su tratamiento control	27
Figura 11: Medición de parámetros físicos de los cultivos.....	27
Figura 12: Dosis de Chlorella y la concentración de Cromo final.....	28
Figura 13: Dosis de Spirulina y la concentración de Cromo final	30

RESUMEN

En el Perú, la contaminación por cromo es causada en cierta parte por la industria textil y el problema ha ido creciendo como resultado del crecimiento de las empresas y la falta de supervisión de las autoridades reguladoras. El objetivo de esta investigación fue determinar el potencial de biosorción de las microalgas *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* para el cromo en varias concentraciones empleando sistemas de cultivo en biorreactores. Se investigaron los efectos de la exposición a diversas muestras de efluentes de la empresa textil que contenían cromo y luego mediante, análisis por espectrofotometría, medir la eficiencia de biosorción de las distintas concentraciones de cada microalga utilizada. En un periodo de 10 días de exposición en cultivo, se formaron tres grupos experimentales de cromo con tres repeticiones cada especie de microalga. Según los resultados del estudio, se comprobó la bioacumulación del cromo era sustancial, las dosis óptimas que lograron una mayor disminución de Cromo fue la dosis que implicaba el 20% del cultivo total, dicha concentración fue para ambas microalgas la más eficiente. Se determinó que las remociones fueron de 95.6% en el caso de *Chlorella* y de 95.0% para el caso de la *Espirulina*.

Palabras Clave: *Spirulina*, *Chlorella*, Biosorción, efluentes, textil.

ABSTRACT

In Peru, chrome contamination is caused in part by the textile industry and the problem has been growing as a result of the growth of companies and the lack of supervision by regulatory authorities. The objective of this research was to determine the biosorption potential of the microalgae *Spirulina platensis* and *Chlorella vulgaris* for chromium in various concentrations using culture systems in bioreactors. The effects of exposure to various chromium-containing effluent samples from the textile company were investigated and then, through spectrophotometric analysis, to measure the biosorption efficiency of the different concentrations of each microalgae used. In a period of 10 days of exposure in culture, three experimental groups of chromium were formed with three repetitions for each species of microalgae. According to the results of the study, the bioaccumulation of chromium was found to be substantial, the optimal doses that achieved a greater decrease in Chromium was the dose that involved 20% of the total culture, said concentration was the most efficient for both microalgae. It was determined that the removals were 95.6% in the case of *Chlorella* and 95.0% in the case of *Spirulina*.

Keywords: *Spirulina*, *Chlorella*, Biosorption, effluents, textile.

I. INTRODUCCIÓN

La liberación de cromo en el agua, aire y suelo, representa un gran problema para el entorno ambiental, debido a su peligrosidad en cuanto a su poca degradación química y biológica que finalmente implica que se acumule con el tiempo, deteriorando las infraestructuras de concreto, red de alcantarillado y para el ser humano y demás seres vivos, provoca que se retenga en la cadena alimentaria causando enfermedades a largo plazo.

El cromo es uno de los elementos que según sea su forma química, son considerados como contaminantes (cromo Hexavalente) y de alta toxicidad, tanto para animales como para seres humanos. Por lo tanto, el desarrollo de actividades tecnológicas vinculadas con la prevención y remoción del Cromo de los efluentes es obligación de cada empresa. Y ya que los métodos de tratamiento convencional de aguas residuales son, aparte de ineficientes, de elevado costo, es que es necesario el encontrar nuevas alternativas de tratamiento.

Por otro lado, el crecimiento demográfico de las últimas décadas, trajo como consecuencia un mayor consumo, por lo que las diferentes industrias relacionadas a satisfacer dichas necesidades de consumo también tuvieron un creciente auge, y entre ellas está la industria textil. Dicha industria conlleva la utilización de procesos que implican la utilización de químicos para el tratamiento de las diferentes fibras intervinientes en sus productos de textilera. Y uno de los componentes de las sustancias que se utilizan en sus procesos es el cromo.

La actividad textil se caracteriza en que, desde antes de llegar a la confección de prendas para su exportación, pasa por una cadena productiva que incluye a el acopio de materia prima para posteriormente formar parte de la industria de hilos y tejidos planos. Y por lo general como en cualquier actividad antrópica, esta industria también conlleva efectos medioambientales que necesariamente deben de estar regulados; es nuestro país la institución a cargo de regular estos problemas es el Ministerio del ambiente, quien a través de la Ley N° 28611 – Ley General del Medio Ambiente, y asimismo específicamente en base a el reglamento de Gestión

Ambiental para la industria manufacturera y Comercio interno, aprobado por D.S. N° 017-2015 PRODUCE, que tiene por finalidad la promoción y la regulación de la gestión Ambiental, conservando y aprovechando de forma sostenible los recursos naturales; del mismo modo, a nivel de la región de Arequipa dichas funciones fiscalizadoras y de vigilancia en la actividad industrial, y de protección de las áreas protegidas, están a cargo de la Autoridad Regional del Medioambiente (ARMA), institución perteneciente a la presidencia Regional del Gobierno regional de Arequipa..

Dado que, en nuestro país, Arequipa es la segunda ciudad con mayor actividad empresarial vinculada a la exportación textil, realizando ventas a países como USA, china y otros países, permitiendo la generación de empleos en su población. Dicha situación económicamente es positiva, no obstante, dicho desarrollo industrial implica que también se incrementó el uso de sustancias químicas, como, por ejemplo, tinte para los tejidos, impresiones de diseños y otros acabados. Estas sustancias y otras más, producto de la cadena productiva de la industria textil, usualmente producen aguas residuales con contaminantes que son vertidas en los efluentes que posteriormente va a afectar a la salud humana, animales y al medio ambiente. Por lo que se considera al efluente textil descargado sin tratamiento previo, como uno de los tipos más peligrosos de agua residual (De Araujo, 2020, p.1429).

Justamente se debe de atender la contaminación de esta industria, ya que, es de las que mayor cantidad de agua utiliza para sus procesos, aproximadamente 1m^3 por cada 10 kilos de tela teñida, dejando como resultado por lo general efluentes cargados con contaminantes como sulfuros y amoníaco y metales pesados como el Cromo; prácticamente la cantidad de empresas que tienen procesos adicionales para la remoción de contaminantes, son pocas (Salas, 2017, p.7). Situación que según Guillén (2020, p. 420) se repite en la ciudad de Arequipa, donde la mayor parte de las empresas textiles no tratan de forma adecuada sus aguas residuales.

Es en ese sentido que el presente estudio buscó evaluar una alternativa biológica para dar solución a esta problemática, a través de un mecanismo de biosorción de contaminantes, principalmente de cromo, utilizando microalgas que puedan

disminuir las concentraciones de cromo de las aguas residuales provenientes de una empresa de la industria textil.

Dada la explicación anterior, el presente estudio abordó dar respuesta al siguiente **problema principal**: ¿Cuan eficiente es la biosorción de cromo mediante el uso de microalgas, en los efluentes de la empresa textil Michell SA. en Arequipa?

Se presenta los siguientes problemas específicos: **PE1**: ¿Cuáles son las características de las microalgas que se utilizarán en la biosorción de cromo? **PE2**: ¿Qué porcentaje de microalgas será la más efectiva en la biosorción? **PE3**: ¿Será efectivo el uso de microalgas para la biosorción de cromo en las aguas residuales de la industria textil?

En ese sentido, la investigación se **justificó teóricamente**, debido a la necesidad de poder dar solución a los problemas de contaminación por cromo por parte de la industria textil, se busca alternativas cómo el uso de la biosorción que es considerado como un método de extracción de metales contaminantes ambientalmente más amigable. (López, 1988, p. 82-83). La biosorción es actualmente estudiada y viene aplicándose de acuerdo a los agentes que utilice, es así que él estudió colabora teóricamente al poder enriquecer el avance científico teórico al proponer nuevos antecedentes con la finalidad de llegar a nuevos conocimientos que permitan profundizar o contrastar lo actualmente estudiado. Del mismo modo, el estudio realizado busca poder dar solución a los problemas de contaminación y adecuar a la empresa a las exigencias de legislación nacional ambiental vigente, ayudando a mejorar en el planeamiento de sus operaciones y evitando sanciones económicas que desmedren sus márgenes de utilidades. Del mismo modo, se **justifica una implicancia práctica** para la empresa al brindar alternativas de solución a la problemática ambiental que le confiere en gastos por contaminación afectando a los costos de producción. (López, 1988, p. 82-83). Cómo **utilidad metodológica** su justificación radica que para lograr los objetivos se usaron técnicas de investigación de extracción de cromo, técnicas de muestreo para la recolección de datos y técnicas de revisión de la literatura, que ayudaron a realizar el presente trabajo; de esta forma colaborar en el afianzamiento de los métodos aplicados para posteriores investigaciones relacionadas (López, 1988, p.

82-83.) Y se justifica como **relevancia social**, ya que, al encontrar una alternativa de descontaminación, se disminuye las probabilidades de perjuicio de la salud de la población, que, debido a su exposición a los efectos tóxicos del cromo en efluentes, puede causar daños irreversibles, inhibiendo o bloqueando las actividades biológicas.

Para el desarrollo de la tesis se estableció como **objetivo general**: Evaluar la eficiencia de biosorción de cromo contenido en los efluentes de la empresa Textil Michell SA, mediante la utilización de microalgas. Los **objetivos específicos** fueron: **OE1**: Identificar las características de las microalgas en la biosorción de cromo. **OE2**: Determinar el porcentaje óptimo de microalga a inocular en las muestras de efluentes. **OE3**: Determinar la concentración de Cromo removida debido a la biosorción mediante el uso de microalgas.

El planteamiento y cumplimiento de dichos objetivos dio lugar a la resolución de la siguiente **hipótesis de investigación principal**: La biosorción mediante el uso de microalgas es eficiente en la remoción de Cromo (Cr) de los efluentes de la industria de textiles en Arequipa, 2022. De igual forma se plantean hipótesis específicas según los objetivos específicos los cuales son: **HE1**: Las características de las microalgas son favorables para la biosorción de cromo de los efluentes de la industria textil. **HE2**: Existe un porcentaje adecuado para inocular en muestras de efluentes de la industria textil. **HE3**: La biosorción mediante microalgas disminuye la concentración de cromo de los efluentes de la industria textil.

II. MARCO TEÓRICO

La presente investigación ha considerado para su desarrollo teórico, los siguientes estudios previos:

Mérida (2020), en su estudio que tuvo por finalidad examinar el rol que tienen las microalgas en el manejo de aguas residuales, para lo cual se valió del método del análisis documental de la literatura disponible, obteniendo como resultado algunos alcances sobre las microalgas como que el crecimiento de microalgas en aguas residuales va a ser afectado por la iluminación o la fuente de carbono, ya que, dichas aguas tienen un alto contenido de materia orgánica; asimismo, se debe ejercer un buen control de los parámetros físicos, químicos y biológicos. El estudio concluye en que es posible hacer aprovechamiento de grandes volúmenes de residuos industriales, para la producción de biomasa de microalgas y, lograr reducir la contaminación y a su vez obtener ingresos hacia la empresa.

Sandoval et al. (2020), donde se tuvo por objetivo exponer una revisión sobre el uso de microalgas para la remoción de contaminantes emergentes en aguas residuales. Que, en base a una metodología de Análisis documental de la bibliografía, se obtuvieron hallazgos en relación a que los métodos de tratamiento convencional no llegan a brindar una eficiente remoción de los contaminantes de las aguas residuales, motivando a que se profundicen estudios respecto a aplicar tecnologías de remoción a partir de microalgas. Concluye el estudio en indicar que en los últimos años las microalgas se han venido utilizando de forma intensificada desde su uso en lagunas, hasta en reactores tubulares de burbujeo, mostrando muchas ventajas debido a su eficiencia y bajo costo de implementación.

Chuman & Melo (2021), muestran una investigación que tomó por objetivo evaluar las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales que han demostrado mayor efectividad, para tal fin se utilizó como metodología una revisión sistemática sin meta análisis de diversos artículos científicos de libre disponibilidad. Como resultados se consideran como las técnicas más efectivas para la remoción son la biosorción, biocarbón, sorbente abiótico, carbón activado y la electrocoagulación cuyas eficiencias fueron del 99.9%, 99.3%, 98.2% y 98%

respectivamente. Del mismo modo el estudio concluye en que la mejor técnica y la más utilizada en la remoción de cromo debido a su eficiencia, es la biosorción.

Herrera & Pretel (2020), en su estudio que tuvo por objetivo identificar los tratamientos más eficientes que son aplicados en la remoción de cromo a partir de efluentes industriales. Para lo cual se usó una metodología de Análisis bibliométrico, cuyos resultados arrojaron cómo métodos de remoción de cromo más eficientes a los realizados con, cáscara de huevo, cáscara verde de almendra y aserrín, a partir de efluentes industriales con valores de 93%, 99,9%, 100% respectivamente. Concluyendo que la utilización de biomásas proveniente de productos agroindustriales son los más eficientes en la remoción de cromo alcanzando niveles superiores al 70% de remoción.

Millán (2018), Utilizando varios tipos de biosorbentes, se propuso investigar las técnicas de biorremediación en aguas residuales industriales con el fin de desarrollar un marco conceptual dentro del cual se pudiera identificar un enfoque ideal para la extracción de cromo hexavalente utilizando varios métodos de biorremediación. Utilizando como método de desarrollo de investigación un análisis comparativo de los diversos métodos de biorremediación específicamente de la bioabsorción y fitorremediación. Entre los resultados más importantes se encuentra en la investigación que tanto los microorganismos, hongos y algas existe un incremento de su población cuando el agente contaminante está presente y viceversa. Se concluyó que ambientalmente la biorremediación es un proceso aceptable, del mismo modo, los estudios indican que para la remoción de cromo hexavalente es un proceso factible, por ser natural.

Vela et al. (2018), en este estudio, los autores discuten los resultados de una investigación en relación a la eficacia de las microalgas en la eliminación del mercurio, los fosfatos, los sulfatos y los nitratos de las aguas residuales de las minas, como parte de un proceso de ficoremediación; para ello se destinó una metodología de Diseño experimental con un análisis estadístico con un diseño completamente al azar (DCA). Dentro de los resultados se destaca que todos los tratamientos empleados lograron que los efluentes metalúrgicos cumplan con los LMP (Límites máximos permisibles) para los parámetros evaluados. Y se concluye

que, el consorcio de *Pleurococcus* sp., *Chlorella* y *Scenedesmus* sp. logró una remoción más eficiente de los nitratos, fosfatos y sulfatos de los efluentes metalúrgicos en un 97, 93 y 76 %, respectivamente.

Ortiz et al. (2018), sostuvieron un estudio cuyo objetivo fue de evaluar los efectos de la biorremediación con microalgas (*Spirulina* máxima, *Spirulina* platensis y *Chlorella* vulgaris) como alternativa para tratar la eutrofización de la laguna de Ubaque. Se empleó una metodología de diseño experimental “Compuesto Central Factorial 2²” realizado con el programa Design-Expert, cultivándose las cepas de microalgas de acuerdo a las especificaciones del diseño. Entre los resultados más destacables se afirma que la cepa de microalga *Chlorella* vulgaris remueve con mejor eficiencia los nitratos, nitritos y fosfatos; y la *Espirulina* máxima al igual que la *Chlorella* los fosfatos. Se concluye que, la remoción de nitratos, nitritos y fosfatos de la laguna en estudio por parte de biorremediación mediante microalgas es efectiva.

Armas & Guevara (2017), presentan su investigación que propuso evaluar la influencia de una matriz de microalgas nativas inmovilizadas en Alginato Cálcico en la biosorción de cromo total presente en soluciones ideales. Para tal fin el estudio se basa en una metodología de diseño experimental para determinar cómo influye el pH, tiempo de contacto, masa y los ciclos en su efecto en el grado de extracción de cromo total. El estudio llega a concluir que ambientalmente el uso de microalgas como agentes removedores de cromo de efluentes contaminados, es factible y viable.

Rodríguez (2019), en su investigación que tuvo por objetivo evaluar la capacidad de remoción de cromo en efluentes de la etapa de curtido de la curtiembre Inversiones Harold SAC. Para cumplir con dicho objetivo se empleó una metodología de diseño experimental cuantitativa, donde se realizó un análisis de cromo por absorción atómica a la flama (FAAS), para determinar de forma cuantitativa la presencia de cromo total de las muestras. Como resultados se encuentra que un consorcio de levaduras remueve cromo en concentración de 50 y 100 ppm en un 57% y 54% respectivamente. Y se concluye que no existe

diferencia significativa estadística en la remoción en concentraciones de 50 y 100 ppm de cromo por parte de un consorcio de levaduras.

Arreaga & Maya (2019), en su estudio que tiene por finalidad optimizar los parámetros fisicoquímicos para la remoción del ion cromo en un medio acuoso, mediante la biomasa del alga *Codium santamariae*. Para tal fin se utilizó una metodología de tipo experimental cuantitativa empleando una técnica no convencional. Se obtiene como resultado una remoción de cromo del 34.27%, encontrado una mejor remoción a pH 9 y con temperatura ambiental. Se llega a la conclusión que el biosorbente *Codium santamariae* efectivo en base al método espectrofotométrico.

Guillén et al. (2020), El objetivo principal del estudio fue examinar la eficacia del tratamiento fisicoquímico de los efluentes del lavado de lana de una empresa textil en la ciudad de Arequipa. Para ello se usó una metodología de diseño experimental aplicada, realizando mediciones de los parámetros físico - químicos antes y después de los tratamientos. Utilizando el coagulante FeCl₃ a una concentración del 40%, los investigadores descubrieron que la dosis óptima era de 200 mg/L y el floculante MT-FLOC de 0,8 mg/L, lo que permitió eliminar el 84,97% de los lípidos, el 82,55% de la DBO₅, el 79,36% de la DQO y el 99,60% del total de partículas en suspensión. Por estas razones, la investigación indica que el tratamiento de coagulación-floculación en aguas residuales de lavado de lana es práctico y eficaz para reducir los parámetros mencionados.

Descrito en párrafos arriba los principales hallazgos en cuanto a antecedentes investigativos, se presenta del mismo modo, a continuación, el abordaje a las definiciones y conceptos necesarios para comprender las variables tratadas en el presente estudio:

Se consideran **Efluentes industriales** a los desperdicios de naturaleza sólida, gaseosa o líquida que son generados por las actividades industriales y que son recibidos por un cuerpo receptor, usualmente a cursos de aguas abiertas y aguas subterráneas mediante filtración. Ocasionando un decrecimiento de la calidad de agua en perjuicio de la naturaleza Unesco (2017).

El Cromo (Cr), está considerado como un metal pesado, es de color gris brillantado, tiene como numero atómico 24 e integra el grupo VI de la tabla periódicos de elementos químicos (Ver figura 1). Asimismo, según indica Zheng et al. (2021), el cromo (Cr) ha suscitado una gran preocupación pública debido a su amplia distribución y sensibilidad redox. Es una de las especies de metales pesados más comunes en las aguas residuales subproductos de las industrias (por ejemplo, pigmentos y galvanoplastia), y está catalogado como uno de los contaminantes prioritarios por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos; la Organización Mundial de la Salud ha estipulado 50 µg/L como niveles máximos de contaminantes para el CrO4²⁻ en el agua potable.

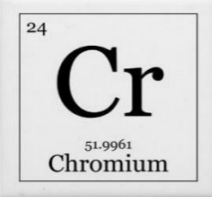
CROMO	
Símbolo	
Número atómico	24
Peso atómico	51,9961
Color y textura	Blanco plateado, duro y quebradizo
Densidad	7,19 g/cm ³ a 20°C
Punto de ebullición	2672 °C
Punto de fusión	1857 °C
Solvólisis	Soluble en ácido sulfúrico y ácido clorhídrico diluidos

Figura 1. Información química de Cromo.

El cromo (Cr) se presenta en varios estados de oxidación. Los estados más estables son el Cr (III) y el Cr (VI) (Farid et al., 2017). El cromo VI es muy tóxico debido a su alta estabilidad y sus propiedades cancerígenas, además de su capacidad para causar necrosis, bronquitis, asma y dermatitis en humanos (Farid et al, 2017). Sin embargo, el Cr-III se considera esencial a nivel de trazas para el metabolismo de la glucosa y los lípidos, donde actúa como cofactor para potenciar la actividad de la insulina (Swaroop et al., 2019).

Comercialmente el Cromo es importante sus diversos compuestos de cromato de sodio ferrocromo, dicromatos que se utilizan a escala comercial (Ver figura 2).

Estas diferentes formas se utilizan en la soldadura de acero inoxidable soldadura de acero inoxidable, curtido de pieles, tintes y pigmentos madera pigmentos y se encuentra como mineral natural en la eskolaita (Chávez, 2018). También actúa como agente anticorrosivo en calderas (Aslam & Yousafzai, 2017).

Sin embargo, también se le relaciona con la contaminación a nivel de agua, suelo y aire. Como características físicas se sabe que es resistente y no muy alterable. Por lo general los estados de oxidación en la cual se encuentra el cromo en el ambiente, es en oxidación trivalente y/o Hexavalente. El cromo se considera como beneficioso para el metabolismo lipídico y de carbohidratos cuando el ion es trivalente, y por el contrario su deficiencia puede promover enfermedades cardiovasculares Si el cromo es trivalente, no evidenciándose funciones en el organismo de plantas vegetales, Cuellar (2018).



Figura 2. Usos industriales del cromo

Caso distinto es el cromo hexavalente (VI), que es considerado como el metal más tóxico, donde su efecto se sitúa específicamente en que el ion VI de este metal migra en el interior de las membranas celulares, incrementando su concentración en su interior, causando desde ahí sus efectos tóxicos, Cuellar (2018).

La remoción de cromo: De los efluentes está en relación de dependencia de parámetros como el pH, la temperatura, tamaño de partículas y la concentración Herrera & Pretel (2020). Y a partir de los efectos que produce el cromo en la naturaleza, se han realizado esfuerzos para su remoción, como los de Bedada et

al (2020), que buscaron disminuir el cromo de los efluentes utilizando carbón activado, para lo cual mediante experimentaciones se logró remover el 90% de cromo. Del mismo modo otro buen resultado de remoción de cromo fue el realizado por Shahid (2019) que, en base a un estudio de valorización de hidrometalurgia del cromo hexavalente, pudo realizar una remoción del 90% de cromo de una muestra proveniente de efluentes de la industria de galvanoplastia; cómo también Rahmna et al. (2020), que removi6 el 97% de cromo de los efluentes de dicha última industria utilizando desechos de 4 (acrilato de metilo). De esta forma se puede evidenciar que existen en los últimos años investigaciones que tratan de disminuir la presencia de cromo en los efluentes. Por otro lado, se entiende también que la toxicidad puede disminuirse mediante la biorremediación porque algunos microorganismos son capaces de convertir el cromo hexavalente Cr (VI), altamente t6xico, en cromo trivalente Cr (III), menos t6xico, mediante la secreci6n de cromato reductasa. Adem6s, los microorganismos son capaces de eliminar el Cr por adsorci6n en las paredes celulares microbianas (Shuyu et al., 2021).

La biosorci6n, es en general, un m6todo utilizado para remover metales, vali6ndose para dicho objetivo, del uso de materiales biol6gicos. Es un proceso en el cual, se considera para la remoci6n, biomasa muerta o viva, como el uso de hongos, bacterias, levaduras, algas (macro y microalgas) y polisac6ridos de diversa 6ndole. Como formas de remoci6n de metales se entiende que se dan por mecanismos de adsorci6n f6sica, intercambio i6nico y complejaci6n. Cuando se habla de biosorci6n se comprende que suceden procesos donde se relacionan grupos funcionales tanto de los biomateriales vivos o muertos y los metales. Donde se considera a las amidas, 6cidos carbox6licos, tioles, y los hidr6xidos como los principales grupos funcionales interactuantes que gracias a su alta densidad electr6nica y su gran capacidad de presentar grupos polares que atraen iones met6licos, Silva et al., (2018).

Los bioadsorbentes pueden aplicarse tanto en su estado natural como tambi6n en otras investigaciones se hizo una mejora de su capacidad de adsorci6n mediante procesos fisicoqu6micos previos. Al respecto Rocha, Vendruscolo y Antoniosi, (2019) evaluaron la Biosorci6n de cromo que puede tener una biomasa f6ngica de

Pleurotus ostreatus obteniendo a partir de ciertos parámetros de concentración y tiempo de exposición una remoción del 100% de cromo contenido en efluentes de la industria. Con la misma finalidad de remoción de cromo, Madhusudhanan, Badhusha y Saranya, (2019) utilizaron a la especie *Chaetomorpha antennina* para su evaluación en efluentes industriales también, alcanzando un 83% de biosorción. De igual modo, Pant et al, (2019) utilizaron una cepa de cianobacterias que como resultados de su evaluación arrojó un 82.96% de remoción.

Procesos de biosorción de Cromo, a comparación de los demás procesos para reducir cromo de medios contaminados como los tratamientos fisicoquímicos, los procesos de biosorción presentan ventajas que se especificarán más adelante. Estos procesos en la reducción de cromo, en base a microalgas, se da en dos procesos según Téllez (2020):

- Bioadsorción, que se da cuando se utiliza biomasa muerta, logrando una adsorción pasiva. Este proceso varía su eficiencia según, el metabolismo de la biomasa.
- Bioacumulación, en este proceso la remoción de metales pesados se da en forma activa por la biomasa viva, producto de los procesos metabólicos de las microalgas, y además de las propiedades fisicoquímicas del medio de cultivo.

En los procesos de biorremediación tienen dependencia de los caracteres microbiológicos y fisicoquímicos del medio a tratar, es así que bajo esos lineamientos se pueden especificar ventajas y limitantes, a ello sumarle el contaminante y su carga inicial a disminuir, para ello se utiliza la ecuación $ER = \frac{CC_{inicial} - CC_{final}}{CC_{inicial}} * 100\%$, según quien sea el agente que asuma la biorremediación se indica el proceso, microrremediación (si se usan hongos y levaduras), fitoremediación (plantas), ficoremediación (algas) y también se incluyen a las bacterias que pueden realizar la remoción de metales contaminantes de forma aeróbica o anaeróbica (Valenzuela, 2018).

Las microalgas son consideradas como tal, a los microorganismos que cuentan con la capacidad de hacer procesos fotosintéticos. En la actualidad se estima que

existen al más de 30 mil especies, sin embargo, sólo se han estudiado no más de 100, de las cuales 10 especies son las que se les ha encontrado una finalidad comercial (Téllez, 2020). Las microalgas cumplen un rol fundamental en la sostenibilidad de la vida en el planeta, ya que, gracias a su actividad de fotosíntesis, producen oxígeno capturando dióxido de carbono, de esta forma da lugar a la formación de biomasa que es base de la cadena trófica de los sistemas acuáticos (Farroñan & Carrasco, 2019).

Características importantes de las microalgas, que han llamado mucho su atención al momento de considerarlas para muchos usos, es que se adaptan a diversos ambientes con diferentes condiciones, desde zonas con altas temperaturas como desiertos y zonas tropicales, hasta zonas muy frías como en zonas de alta montaña y zonas polares (Hernández, 2019). Asimismo, una ventaja que presentan estos microorganismos al considerar su adaptabilidad, es que su cultivo no requiere de terrenos agrícolas o agua utilizable, dándose el caso que incluso puede tener crecimiento en aguas que contienen contaminación de algún tipo (Santos, 2017).

En ese sentido, para poder contar con una producción de microalgas, se debe tener en cuenta de la existencia de factores que tienen incidencia en la biología de las microalgas. Dichos factores vinculados a la producción son por lo general, básicamente, la disponibilidad de luz, el requerimiento de nutrientes, la temperatura, pH, salinidad etc., según sea la especie a cultivar (Niño et al., 2017).

Dentro de las especies de microalgas más comercializadas está la *Spirulina sp.* la cual se utilizan para distintos fines, desde el tratamiento de ciertas enfermedades, como alternativa para la producción de alimentos funcionales y nutraceuticos, hasta su utilización en biocombustibles a partir de su biomasa (Lupatini et al., 2017).

En relación a su utilización como biorremediador, la espirulina al ser considerada como cianobacteria poliextremófila, posee mecanismos eficaces que garantizan su supervivencia en condiciones extremas. Esto hace de la *Spirulina* un objeto modelo adecuado para los estudios de biorremediación. La *Spirulina platensis* es un objeto modelo biotecnológico conveniente, ya que es fácilmente manipulable en

condiciones de laboratorio e industriales para la tecnología de biorremediación (Cepoi & Zinicovscaia, 2020).

Numerosas investigaciones han demostrado que la biomasa de *Spirulina* puede eliminar completamente los iones metálicos de los sistemas por lotes y efluentes industriales reales mediante un proceso de biosorción.

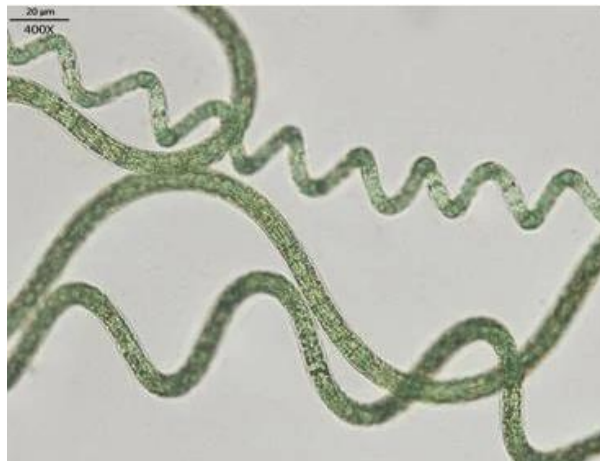


Figura 3. Vista al microscopio de *spirulina platensis*

Otra microalga que ha demostrado propiedades interesantes es la *Chlorella sp.* Según indica Kai et al. (2020) la *chlorella* es descubierta por el microbiólogo holandés Dr. Martinus Willem Beijerinck a partir del primer cultivo puro de una microalga eucariota y considerándola como un alga verde. Tiene diversidad de habitat, desde ambientes de agua dulces y terrestre, hasta ambientes y tiene una gran capacidad fotosintética y de crecimiento rápido en condiciones autotróficas, mixotróficas y heterotróficas. Todas estas características la han convertido en una de las primeras microalgas consideradas para su cultivo a gran escala y producción comercial (Borowitzka, 2018).

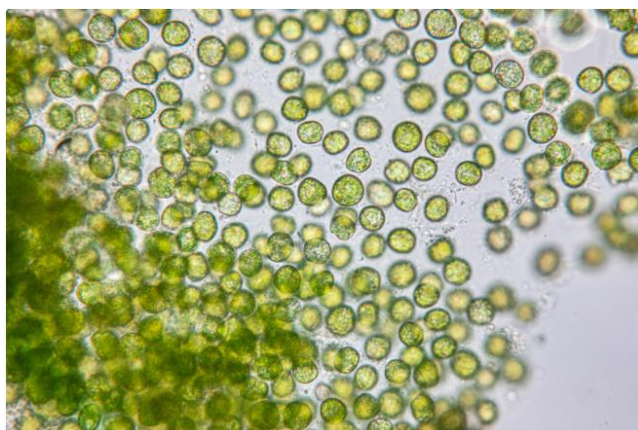


Figura 4. Vista al microscopio de *chlorella vulgaris*

En cuanto a su efectividad en la biorremediación la microalga *chlorella* ha demostrado buenas prestaciones en cuanto a la capacidad de absorber metales en aguas residuales, sin embargo, la exposición a diversas concentraciones de plomo puede afectar su crecimiento (Endah & Nuravivah, 2018).

La producción de microalgas por lo general se da en fotobiorreactores, que se tratan de biorreactores que están en exposición a la luz del sol, permitiendo que al entrar la luz sea la fuente de energía para las microalgas, entonces cabe precisar que hay que considerar como el principal factor influyente en la producción de microalgas a la iluminación (Muñiz, 2019). Sin embargo, de toda la luz disponible (luz solar), para la realización de la fotosíntesis las microalgas llegan a utilizar solo una parte, según (Gutiérrez, 2017) se utiliza longitudes de onda de entre 400 a 700 nm.

Uso de microalgas en la remediación de metales pesados. Al ser estos microorganismos seres mayormente planctónicos y productores de oxígeno y biomasa, basan principalmente su reproducción por bipartición (división celular), donde no incrementar su biomasa en forma individual sino más bien la cantidad de unidades de microalgas sin ser invasivas, del mismo modo estas microalgas cumplen funciones en la evaluación de aguas como indicadores de su calidad y su ecotoxicidad (Cruz, 2019).

Dichas algas microscópicas tienen como propiedad la capacidad de acumulación de metales pesados en su biomasa al incrementar su crecimiento, esta característica hace que se les considere como de elevado riesgo tóxico, ya que,

puede presentar acumulación en sus tejidos vivos de cromo (VI). Es así que su utilización para controlar la contaminación esta parametrado a mediciones de pH, dureza del agua, presencia de cloruros, sulfatos y otros, dichos parámetros limitan los procesos biológicos de las microalgas, que inciden en su bajo crecimiento debido a que se encuentran en un medio no inadecuado para su expansión (Armas & Guevara, 2017).

A través de los procesos de biosorción comentado anteriormente es que las microalgas, ya sea como biomasa viva o muerta, tienen la capacidad de disminuir la toxicidad de los medios a los cuales habita o se expone, llegando inclusive a dejarlos inocuos (Téllez, 2020).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipos y diseño de la investigación

Tipo de investigación

Debido a la naturaleza de los datos, el tipo de investigación es aplicada, ya que se caracteriza y busca aplicar los conocimientos adquiridos de estudios anteriores realizados (Baena, 2017).

Diseño de la investigación

En cuanto al diseño se considera según indican Mejía, Naranjo y Santamaría (2018), que es pre experimental, ya que se realizarán mediciones al inicio de la variable independiente (pre test) y una medición posterior luego de aplicarle el tratamiento (post test).

G O1 → X → O2

Dónde:

G = Grupo de interés

O1= Pre test o medición inicial

X = Estimulo o tratamiento

O2 = Pos test o medición final

3.2. Variables y operacionalización

Para la presente investigación se ha propuesto para alcanzar los objetivos, el evaluar como variables las siguientes:

Variable dependiente: La presencia de Cromo en el efluente de una empresa textil. Según Zheng et al., 2021; el cromo Está considerado como un metal pesado, es de color gris abrigantado, tiene como numero atómico 24 e

integra el grupo VI de la tabla periódicos de elementos químicos. Asimismo, el cromo (Cr) en efluentes ha suscitado una gran preocupación pública debido a su amplia distribución y sensibilidad redox.

Como variable independiente se está considerando la capacidad de biosorción que presentan las microalgas evaluadas. Según Escobedo (2018), la biosorción Es la capacidad que los materiales de origen biológico tienen para adherir o ligar metales tóxicos a su pared o membrana celular a través de interacciones entre los iones metálicos y los grupos funcionales de los biosorbentes.

3.3. Población, muestra, muestreo y unidad de análisis

Población Se le denomina población al conjunto de unidades de estudio o individuos que son examinados. De la población se recogen datos respecto a alguna variable utilizando técnicas de recolección de datos (Cabezas, Andrade y Torres, 2018).

La investigación tuvo como población el agua residual de salida final de los procesos de una empresa de una industria textil.

Muestra Es una parte del universo de una población, se puede definir que es una pequeña parte de la población la cual permite conocer datos específicos. (Cabezas, Andrade y Torres, 2018).

Asimismo, se realizará un muestreo no probabilístico por conveniencia que tomará en cuenta:

- Acceso al punto de muestreo
- Obtener una muestra representativa, para ello se tomarán varias muestras.

Unidad de Análisis La unidad de análisis según Hernández et al. (2018), es él o a quien se está estudiando, para el caso del presente estudio se trata de

la concentración de cromo presente en muestras de agua residual como también la eficiencia de biosorción de las microalgas utilizadas.

3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Técnicas que se utilizara para el proyecto son **Observación** “consiste en recolectar información valida y confiable a través de criterios tomados por el investigador” Hernández et al. (2018). Se identificó el lugar de estudio, se ubicó el lugar de muestreo, se tomó el volumen de muestra requerido del punto de muestreo para las pruebas correspondientes. **Análisis documental**, es una estrategia de investigación a partir de la bibliografía disponible, para lo cual se debe saber elegir y saber utilizar la información obtenida, como también examinar y clasificación de información necesaria de acuerdo a las variables. **Instrumentos de Recolección de datos**, para poder recolectar los datos para la investigación se ha requerido de la utilización de un informe de ensayo, cadena de custodia, cuaderno de campo y reportes fotográficos; los cuales se detallan continuación:

Informe de ensayo: Viene a ser la documentación que detalla los datos obtenidos del análisis de las muestras en un laboratorio acreditado por el Instituto Nacional de la Calidad (INACAL).

Cadena de Custodia: Es el conjunto de procesos que incluye la forma de cómo obtener la muestra tomando en cuenta los parámetros que se han evaluado, recipiente de recolección, volumen extraído, responsable de muestreo, y demás datos relevantes al estudio.

Cuaderno de Campo: Formato que ha utilizado para el apunte de valores y observaciones adicionales durante la ejecución de los procedimientos de la presente tesis.

Reporte Fotográfico: registro de las fotografías tomadas durante la toma de muestras en campo.

3.5. Procedimiento

Obtención de las Cepas de microalgas utilizadas, las microalgas utilizadas en la presente investigación, son las conocidas como Espirulina (*Arthrospira platensis*) y Chlorella (*Chlorella vulgaris*), para lo cual se hizo la adquisición de las cepas iniciales de la empresa SPIRUMISTI S.A.C., donde también se utilizó los ambientes de dicha empresa para las pruebas de biosorción.

Preparación de cultivo de las microalgas, para la obtención de medios de cultivo para que las microalgas se puedan desarrollar se tuvo que adquirir los siguientes productos químicos, según indica Andexs Biotechnology (2021):

- Bicarbonato de sodio: 8g
- Sal: 5g
- Nitrato potásico (o salitre): 2g
- Sulfato dipotásico: 1g
- Fosfato monoamónico: 0,1
- Sulfato de magnesio ($MgSO_4 \cdot 7H_2O$): 0,2g
- Solución de hierro (10 g de Fe/l): 0,1g
- Cal (si el agua es muy poco dura): 0,02g

Dichas cantidades son específicas para un litro de medio de cultivo.

Tratamiento Para tal fin se ha tomado en cuenta la metodología de proceso utilizada por Fonseca y Guarín (2018), que cultivaron en proporciones iguales los volúmenes de cultivo y la muestra a evaluar.

Se realizaron dos tratamientos los cuales utilizan diferentes cepas de microalgas:

T1: Se utilizó inóculo de cepa de microalga espirulina en 20% y 50% del total de cultivo en efluente con cromo.

T2: Se utilizó inóculo de cepa de microalga *Chlorella* en 20% y 50% del total de cultivo en efluente con cromo.

Tabla 1 Resumen de dosis de cada tratamiento

Dosis	Dosis de microalgas <i>Chlorella vulgaris</i>	Repetición
D0C	0%	R1
		R2
		R3
D1C	20%	R1
		R2
		R3
D2C	50%	R1
		R2
		R3
Dosis	Dosis de microalgas <i>Spirulina platensis</i>	Repetición
D0E	0%	R1
		R2
		R3
D1E	20%	R1
		R2
		R3
D2E	50%	R1
		R2
		R3

3.6. Métodos de análisis de datos

Los datos de los resultados que se obtuvieron previo y posterior a la aplicación de los tratamientos fueron procesados mediante la utilización de software IBM spss 26 y mediante cuadros comparativos en Excel 2019.

3.7. Aspectos Éticos

La tesista asume el compromiso de respetar y dar cumplimiento a todos y a cada uno de los requerimientos que exige la casa de estudios.

IV. RESULTADOS

Preparación de microalgas

Las microalgas adquiridas de *Espirulina* y *Chlorella* fueron en un primer momento verificadas al microscopio para su identificación. Tal como se muestra en las figuras siguientes.

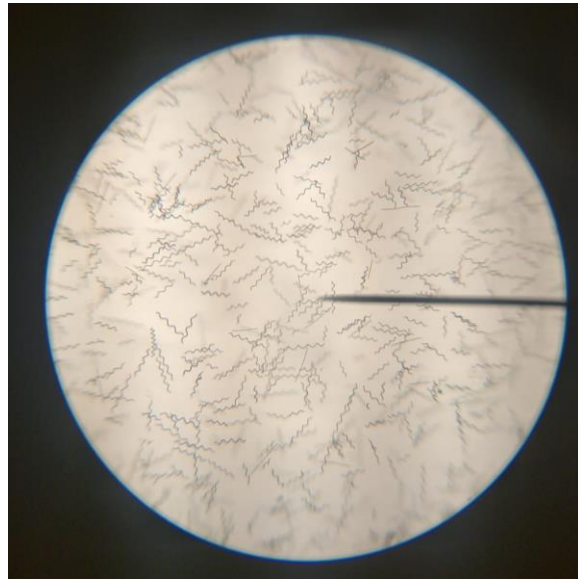


figura 5. Vista al microscopio de *Espirulina* adquirida a 400x

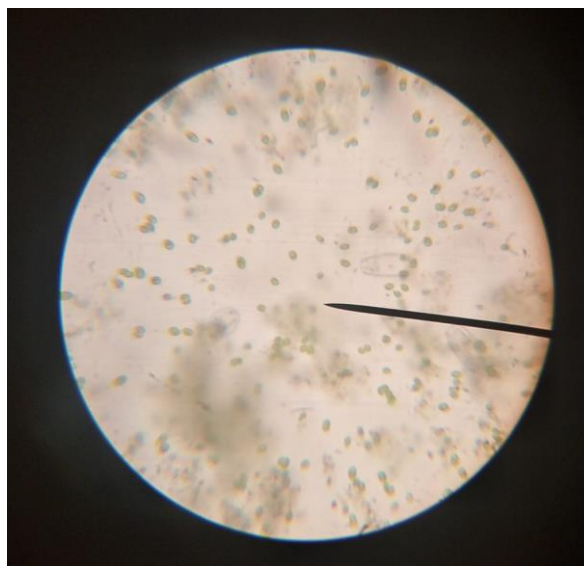


figura 6. Vista al microscopio de *Chlorella* adquirida a 400x

Se prepararon los cultivos para cada cepa según las formulaciones manejadas por la empresa Spirumisti SAC, las cuales se indican a continuación en las siguientes tablas.

Tabla 2 Medio de cultivo preparado para microalgas *Chlorella vulgaris*

Medio de Cultivo X Litro de Agua:	
Bicarbonato de Sodio (NaHCO ₃)	1 gr/litro
Sal Industrial (NaCl)	1 gr/litro
Nitrato de Potasio (K ₂ NO ₃)	2 gr/litro
Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄)	0.5 gr/litro
Ácido Fosfórico (H ₃ PO ₄ 85%)	0.1 ml/litro
Sulfato Ferroso Cristalino (FeSO ₄)	0.008 gr/litro
Micronutrientes (Solución A) - Alternativo	1ml/ litro
Micronutrientes (Solución A)	
Ácido Bórico (H ₃ BO ₃)	2.86 gr/l
Cloruro de Manganeso (MnCl ₂)	1.81 gr/l
Sulfato de Zinc (ZnSO ₄)	0.222 gr/l
Molibdato de Amonio (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4 H ₂ O)	0.02 gr/l
Sulfato de Cobre (CuSO ₄ 5H ₂ O)	0.08 gr/l

Tabla 3 Medio de cultivo preparado para microalgas *Spirulina platensis*

Medio de Cultivo X Litro de Agua:	
Bicarbonato de Sodio (NaHCO ₃)	16 gr/litro
Sal Industrial (NaCl)	2 gr/litro
Nitrato de Potasio (K ₂ NO ₃)	2 gr/litro
Sulfato de Potasio (K ₂ SO ₄)	0.5 gr/litro
Ácido Fosfórico (H ₃ PO ₄ 85%)	0.1 ml/litro
Sulfato Ferroso Cristalino (FeSO ₄)	0.008 gr/litro
Micronutrientes (Solución A) - Alternativo	1ml/ litro
Micronutrientes (Solución A)	
Ácido Bórico (H ₃ BO ₃)	2.86 gr/l
Cloruro de Manganeso (MnCl ₂)	1.81 gr/l
Sulfato de Zinc (ZnSO ₄)	0.222 gr/l
Molibdato de Amonio (NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ · 4 H ₂ O)	0.02 gr/l
Sulfato de Cobre (CuSO ₄ 5H ₂ O)	0.08 gr/l

Dichas formulaciones y sus cantidades fueron calculadas para un volumen de 1 litro para el caso de cada cepa. Se preparó una formulación de más para cada tipo de formulación que se usaron para la prueba control.

Caracterización de las Microalgas

Tabla 4 Características de cultivo de microalga *Chlorella*

Concentración de células (n° de células/ml)	pH	Temperatura (C°)
21,91 x 10 ⁶	8.9	20.9

En conformidad a la tabla anterior, se obtiene un cultivo de microalgas *Chlorella vulgaris*, que presenta una concentración de alrededor de 22 x 10⁶ unidades, un pH de 8.9 y una temperatura de 20.9 °C.

Tabla 5 Características del cultivo de microalga *Spirulina*

Concentración de células (n° de células/ml)	pH	Temperatura (C°)
5.01 x 10 ⁶	9.8	25.5

En conformidad a la tabla anterior, se obtiene un cultivo de microalgas *Spirulina platensis*, que presenta una concentración de alrededor de 25 x 10⁶ unidades, un pH de 9.8 y una temperatura de 25.5 °C.

Determinación de las concentraciones de Cromo iniciales

Las muestras para determinar la cantidad de cromo se realizaron por conveniencia en tres fechas distintas en las siguientes coordenadas de ubicación - 16.416974560282153, -71.54238691687449; en la cual se encuentra la planta tintorería de la empresa Michell Cía. SA en el parque industrial de Jacinto Ibáñez

en el cercado de Arequipa (Ver figura 7 y 8). El lugar es la salida del efluente final de la empresa.

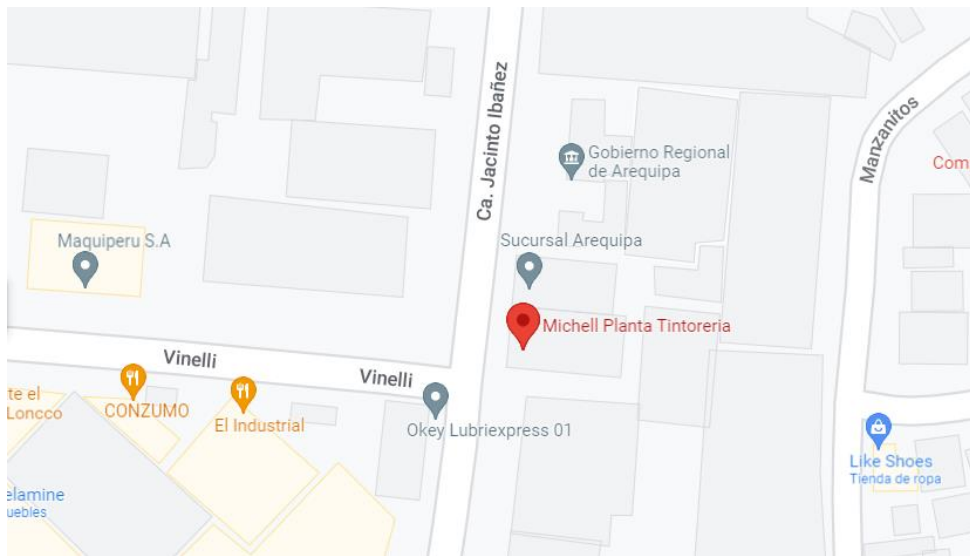


figura 7. Ubicación de la planta Michell SA.

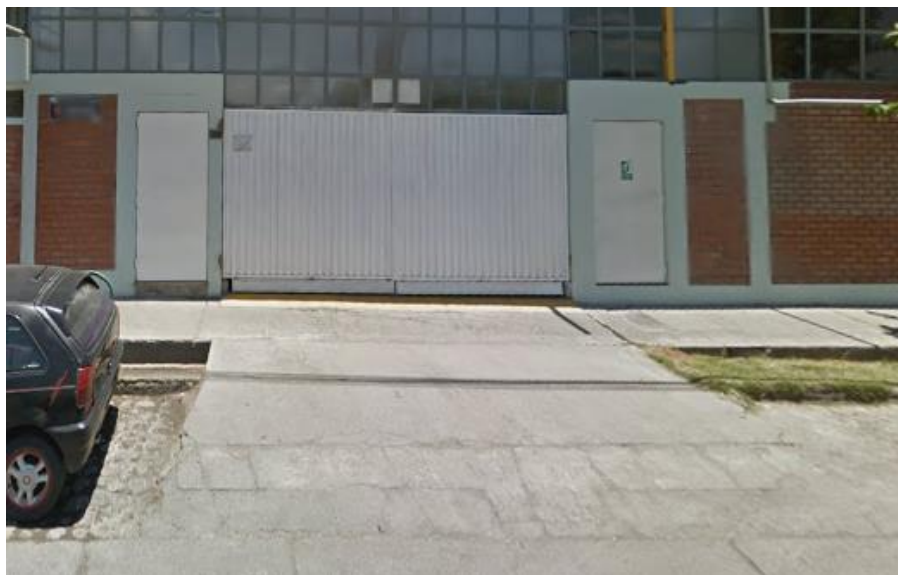


figura 8. Frontis del lugar de la planta.

Se utilizaron frascos de polietileno y HNO_3 para la preservación de las muestras.

El muestreo se realizó por triplicado y teniendo en cuenta el protocolo establecido por el ministerio del ambiente (MINAN). Las muestras fueron evaluadas para

determinar la presencia de cromo VI mediante el método de Espectrofotometría. Los valores son los siguientes:

Tabla 6 Valores de Cromo total y cromo VI inicial en las muestras de efluente en diferentes fechas

Muestra	muestra 1	muestra 2	muestra 3
Concentración cromo total (mg/l)	6.3616	7.1241	6.6410
Concentración cromo VI (mg/l)	2.8627	2.9102	2.8851

De las muestras se tomó de la última fecha para realizar las evaluaciones de biosorción con microalgas.

La preparación de los medios de cultivos procedió con la inoculación de las cepas en los volúmenes establecidos para las muestras de cromo.

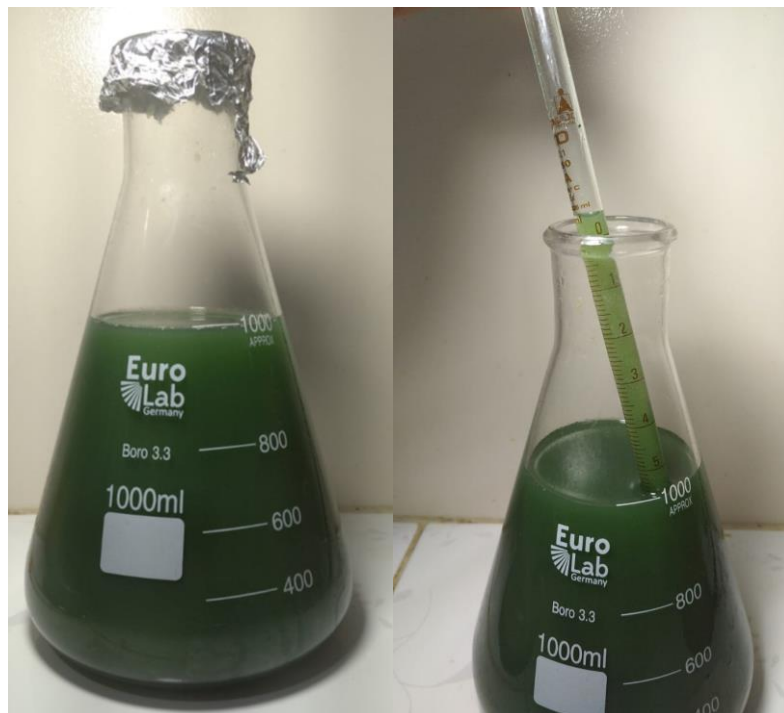


Figura 9 Medición de cepas inoculadas en medio de cultivo

Dichos cultivos luego de su inoculación se trasvasaron en envases plásticos donde se encontraban las muestras de efluente a evaluar, en dichos envases se esperó a

que el crecimiento de las microalgas se diera a una temperatura de 28 °C y un pH de 10 para la Espirulina y de 20°C con 8 de pH para la Chlorella, durante 10 días, tal como se muestra en la figura siguiente.



Figura 10. *Cultivos en crecimiento en cada muestra de efluente y su tratamiento control*



Figura 11 *Medición de parámetros físicos de los cultivos.*

Resultados Luego de aplicar las Dosis de Microalgas

En la siguiente tabla 7 se muestran los resultados para la concentración de cromo obtenidas luego de aplicar la biosorción mediante la microalga chlorella luego de 10 días a luminosidad constante.

Tabla 7 Resultados luego de aplicar las Dosis de Microalga *Chlorella*

Dosis	Concentración de Cromo (mg/L)			Promedio	Desviación estándar
	R1	R2	R3		
D0C = muestra control	6.607	6.601	6.606	6.605	0.0004
D1C = 20% de <i>Chlorella vulgaris</i>	0.301	0.293	0.289	0.294	0.0060
D2C = 50% de <i>Chlorella vulgaris</i>	0.398	0.381	0.379	0.386	0.0051
Dosis	Concentración de Cromo VI (mg/L)			Promedio	Desviación estándar
	R1	R2	R3		
D0C = muestra control	2.975	2.970	2.973	2.972	0.0003
D1C = 20% de <i>Chlorella vulgaris</i>	0.135	0.132	0.130	0.132	0.0060
D2C = 50% de <i>Chlorella vulgaris</i>	0.179	0.170	0.171	0.173	0.0055

La tabla anterior muestra resultados sobre la biosorción realizada por la microalga *chlorella vulgaris*, en la cual se puede apreciar resultados diferentes para ambas dosis inoculadas al cultivo con efluente y con presencia de cromo. La biosorción en promedio de cromo es mayor a una cantidad de 20% del total del cultivo, dando como resultado una menor cantidad de cromo en agua resultante.

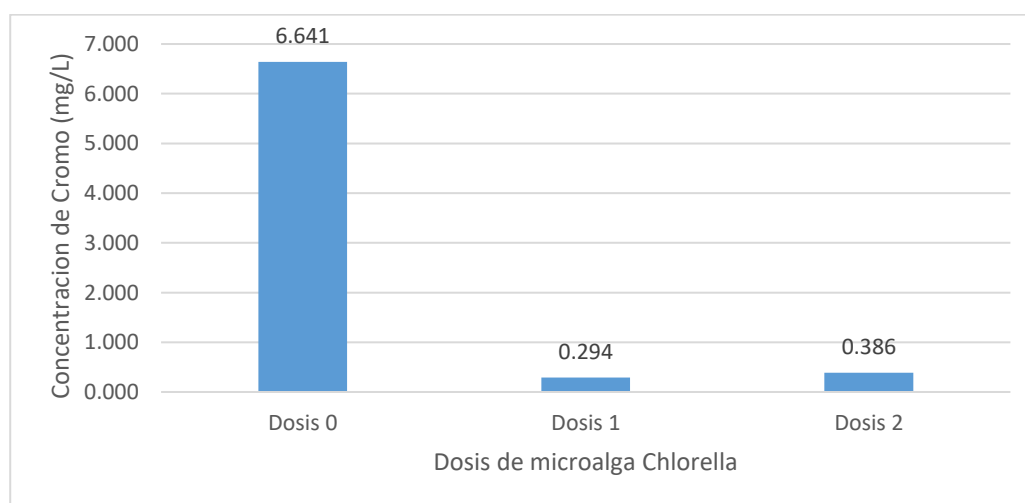


Figura 12. Dosis de *Chlorella* y la concentración de Cromo final

En la figura 12 se visualiza que, al comparar con la muestra de control, se descubre que las dosis administradas de microalga *Chlorella* dan lugar a niveles mucho más bajos de contenido de Cromo en la muestra de efluente. Del mismo modo se estima que los resultados de concentración de cromo luego de aplicar ambas dosis son cercanos a los límites mínimos permitidos.

En la siguiente tabla 8 se muestran los resultados para la concentración de cromo obtenidas luego de aplicar la biosorción mediante la microalga *Spirulina* luego de 10 días a luminosidad constante.

Tabla 8 Resultados luego de aplicar las Dosis de Microalga *Spirulina*

Dosis	Concentración de Cromo (mg/L)			Promedio	Desviación estándar
	R1	R2	R3		
D0E = muestra control	6.523	6.556	6.547	6.542	0.0049
D1E = 20% de <i>Spirulina platensis</i>	0.331	0.329	0.325	0.328	0.0051
D2E = 50% de <i>Spirulina platensis</i>	0.352	0.355	0.349	0.352	0.0053
Dosis	Concentración de Cromo VI (mg/L)			Promedio	Desviación estándar
	R1	R2	R3		
D0E = muestra control	2.935	2.950	2.946	2.944	0.0003
D1E = 20% de <i>Spirulina platensis</i>	0.149	0.148	0.146	0.148	0.0050
D2E = 50% de <i>Spirulina platensis</i>	0.158	0.160	0.157	0.158	0.0054

La tabla anterior muestra resultados sobre la biosorción realizada por la microalga *Spirulina platensis*, en la cual se puede apreciar resultados diferentes para ambas dosis inoculadas al cultivo con efluente y con presencia de cromo. La biosorción en promedio de cromo es mayor a una cantidad de 20% del total del cultivo, dando como resultado una menor cantidad de cromo en agua resultante.

Para ambos tipos de microalgas aplicadas en la biosorción de cromo se establece como resultado que la microalga con mayor remoción de cromo es la microalga *Chlorella vulgaris* a 20% de dosificación. En ambos casos de microalgas, las mayores tasas de biosorción se dan cuando los inóculos son el 20% del total de cultivo.

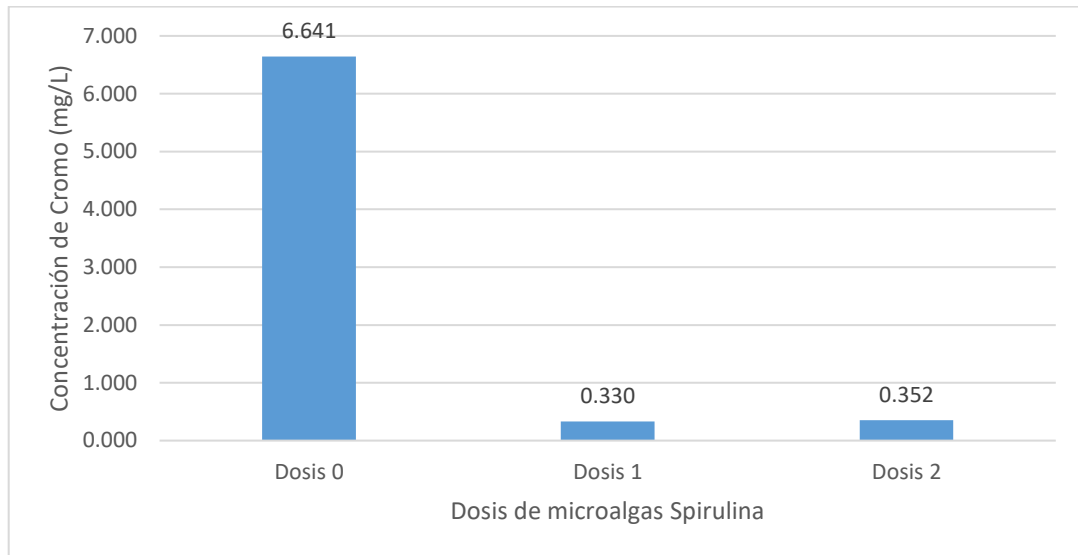


Figura 13. Dosis de Spirulina y la concentración de Cromo final

En la figura 13 se evidencia que, al comparar con la muestra de control, las dosis administradas de microalgas *Spirulina* dan lugar, al igual que la *Chlorella*, a niveles muy bajos de contenido de Cromo VI en la muestra de efluente. Del mismo modo se estima que los resultados de concentración de cromo luego de aplicar ambas dosis son cercanos a los límites mínimos permitidos.

V. DISCUSIÓN

La presente investigación realizó una evaluación de la capacidad de biosorción de Cromo VI de las microalgas *Spirulina platensis* y *Chlorella vulgaris* en muestra de efluentes de una empresa textil. Según los resultados se evidenció que la dosis de 20% de *Chlorella vulgaris* fue la que mejor desempeño logró en cuanto a capacidad de biosorción una concentración final de 0.294 mg/L que partió de una concentración inicial de 6,641 mg/L. Mientras la *Spirulina platensis* tuvo una capacidad de biosorción una concentración final de 0,330 mg/L que partió de una concentración inicial de 6,641 mg/L y con una dosis de microalga del 20%. Según los resultados obtenidos la microalga que mayor Biosorción logró es la microalga *Chlorella* a una concentración del 20% de dosificación del cultivo inicial. Del mismo modo, la microalga *Spirulina* logró también a esa misma dosificación su mejor capacidad de biosorción, que fue ligeramente menor al de la microalga *Chlorella*. Asimismo, Se han evidenciado mediante observación de resultados, niveles altos remoción, que indican que las microalgas son eficientes en una dosificación del 20% para la remoción de cromo en efluentes de una empresa textil en Arequipa. Los resultados obtenidos reafirman la alta capacidad de remoción de las microalgas en cuanto a la biosorción de metales disueltos, tal como lo indica Mérida (2020), quien a través de la revisión de diversos estudios indica que las microalgas son potencialmente de los mejores biorremediadores. Por otro lado, Millán (2018), indica que estos procesos de bioabsorción mediante microalgas son muy factibles cuando se trata la remoción de cromo hexavalente. Diversos estudios están dejando evidencias de que las microalgas son excelentes para la Biosorción en aguas contaminadas de metales pesados, por lo que se deben profundizar en metodologías de biosorción. La presente investigación reafirma la alta eficiencia de las mismas.

En cuanto a la identificación de las características de las microalgas en la biosorción de cromo. Las características iniciales de las cepas de microalgas utilizadas, la cepa de *Chlorella vulgaris* presentó un concentración inicial celular de 21.91×10^6 unidades, pH de 8.9 y una temperatura de 20.9; para la cepa de *Spirulina platensis* se identificó una cantidad de 5.01×10^6 de unidades, un pH de 9.8 y una

temperatura de 25.5 °C. Dado el normal crecimiento de la microalgas en medios de cultivo en efluentes con concentraciones altas de cromo, se afirma que las características de la microalgas utilizadas son favorables para la Biosorción. Las microalgas se adaptaron sin problema alguno al medio de cultivo con niveles altos de cromo, situación que se condice con lo que Santos (2017) indica, que las microalgas son microorganismos que pueden tener la capacidad de crecer en aguas con algún tipo de contaminación. Por lo que las microalgas en esta investigación fueron sometidas a que puedan desarrollarse en un medio con alta cantidad de cromo, dicho medio no fue impedimento para su desarrollo, del mismo modo se evidencia en otras investigaciones, que, las microalgas como la chlorella y espirulina, crecen en este tipo de medios contaminados.

Al determinar el porcentaje óptimo de microalga a inocular en las muestras de efluentes. Se halló que, de dichos cultivos, se obtiene que la mejor dosificación es al 20% tanto para la microalga chlorella y espirulina. Lo cual evidencia que esta concentración es la más eficiente al tiempo de cultivo utilizado para la presente investigación (10 días). Los mejores resultados, es decir, los de remoción más eficientes se lograron cuando el cultivo estuvo en un 20% de dosificación. Según Xarxa (2020), indica que microalgas como la espirulina obtienen su mejor tasa crecimiento cuanto se inician los cultivos con una cuarta o quinta parte de inoculación del cultivo total. Que se debe principalmente al espacio y disponibilidad de nutrientes de crecimiento. Esto indica que las microalgas utilizadas se multiplicaron con mayor cantidad y velocidad a esa dosificación, al obtener al final mayores unidades de organismos, estas han incorporado en su biomasa mayor cantidad de cromo disuelto en el agua de efluente.

En relación a la determinación de la concentración de Cromo removida debido a la biosorción mediante el uso de microalgas, la microalga chlorella tuvo un porcentaje de remoción de 95.6% mientras que la microalga espirulina tuvo un porcentaje de remoción del 95.0%. Las microalgas en todos los casos lograron remover y por consecuencia disminuir la concentración de cromo de los efluentes de la industria textil. A comparación de lo que indica Chuman & Melo (2021), la Biosorción lograda en el presente estudio fue menor, mientras que la de los autores citados fue de

99.9%, la del presente estudio fue de 95.6 % en el mejor de los casos. Por otro lado, autores como Herrera & Pretel (2020) indican que en investigaciones donde se removi6 cromo mediante el uso de biomasas se lograron niveles de 70% de remoci6n. La diferencia de los porcentajes de remoci6n de cromo logrados en comparaci6n de otros autores, pueden deberse a muchos factores, desde la metodologfa efectuada en cada investigaci6n, hasta la presencia de otros metales no analizados que pueden inhibir el crecimiento o biosorci6n de las microalgas. tambi6n es comprobado que un pH muy alto por s6 solo puede sedimentar metales.

VI. CONCLUSIONES

Se concluye que las microalgas *Chlorella vulgaris* y *Spirulina platensis* influyen de forma positiva en la biosorción de Cromo en aguas residuales de una empresa de la industria textil en Arequipa, en donde todas las dosis aplicadas removieron significativamente la concentración de Cromo en dichas aguas efluentes.

Se ha determinado como características iniciales de las cepas de microalgas utilizadas. La cepa de *Chlorella vulgaris* presentó una concentración inicial celular de 21.91×10^6 unidades, pH de 8.9 y una temperatura de 20.9; para la cepa de *Spirulina platensis* se identificó una cantidad de 5.01×10^6 de unidades, un pH de 9.8 y una temperatura de 25.5 °C.

Las dosis óptimas que lograron una mayor disminución de Cromo fue la dosis que implicaba el 20% del cultivo total, dicha concentración fue para ambos casos de cultivo, la más eficiente.

Se determinó que las remociones fueron de 95.6% en el caso de *Chlorella* y de 95.0% para el caso de la *Espirulina*. Dichos datos establecen la idoneidad del uso de microalgas para la extracción de metales de agua residuales de la industria textil.

VII. RECOMENDACIONES

Realizar investigaciones que impliquen formas de extracción de los metales recuperados la biomasa micro algal utilizada para la biosorción de los mismos y que a su vez sean de utilidad para otros fines, por ejemplo, su aplicación en biocombustibles.

Realizar más pruebas de biosorción de otros metales que sean peligrosos para la salud humana y que la industria textil genere.

REFERENCIAS

1. ANDEXS BIOTECHNOLOGY. Manual de procesos biotecnológicos en el cultivo de microalgas. Empresa Andexs Biotechnology SRL. 2021.
2. ARMAS JARA, Erick Steve; GUEVARA LEZAMA, Annie Geraldine. Biosorción de cromo total en soluciones ideales utilizando una matriz de microalgas nativas inmovilizadas en alginato cálcico. 2017.
3. ASLAM, Sonia; YOUSAFZAI, Ali Muhammad. Chromium toxicity in fish: A review article. *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 2017, vol. 5, no 3, p. 1483-1488.
4. BAENA PAZ, Guillermina. Metodología de la Investigación. Tercera edición e-book. Grupo editorial Patria. 2017. p. 62-74
5. BEDADA, D et al. Chromium removal from tannery wastewater through activated carbon produced from *Parthenium hysterophorus* weed. *Energy, Ecology and Environmental*. Vol 5, n° 3. pág. 1-12, Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40974-020-00160-8>.
6. BERNARDO ZARATE, Carlos; CARBAJAL LLANOS, Yvana; CONTRERAS SALAZAR, Victoria. Metodología de la Investigación. Manual del Estudiante. Universidad de San Martín de Porres. 2019. p. 97
7. BOROWITZKA, Michael A. Biology of microalgae. En *Microalgae in health and disease prevention*. Academic Press, 2018. p. 23-72.
8. CABEZAS, ANDRADE Y TORRES, Introducción a la Metodología de la Investigación Científica. Comisión Editorial de la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. 2018 p. 80-100
9. CEPOI, Liliana; ZINICOVSCAIA, Inga. *Spirulina platensis* as a model object for the environment bioremediation studies. En *Handbook of Algal Science, Technology and Medicine*. Academic Press, 2020. p. 629-640.
10. CUELLAR, Mariela. Cromo: un metal pesado que se puede especiar, entender y del cual se pueden conocer sus efectos en el ambiente. 2018.
11. DE ARAÚJO, Caroline MB, et al. Real textile wastewater treatment using nano graphene-based materials: Optimum pH, dosage, and kinetics for colour and turbidity removal. *The Canadian Journal of Chemical Engineering*, 2020, vol. 98, no 6, p. 1429-1440.

12. ENDAH, Rita Sulistya; NURAVIVAH, Riza. Potential of Microalgae *Chlorella vulgaris* as bioremediation agents of heavy metal Pb (Lead) On Culture Media. En *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences, 2018. p. 05010.
13. ESCOBEDO PACHECO, Elias. Biosorción de aluminio y manganeso total, presentes en soluciones acuosas, con cascara de palta (persea americana mill) tratada con Formaldehido. 2018.
14. FARID, Mujahid, et al. Phyto-management of chromium contaminated soils through sunflower under exogenously applied 5-aminolevulinic acid. *Ecotoxicology and environmental safety*, 2018, vol. 151, p. 255-265.
15. FARROÑAN RAMOS, Brigitte Elizabeth; CARRASCO CHÁVEZ, Richard Antoni. Biocaptación de dióxido de carbono aplicando la microalga *Scenedesmus* sp. Lima 2019. 2019.
16. GUILLÉN ZEVALLOS, María Ofelia, et al. Tratamiento fisicoquímico de los efluentes del proceso de lavado de lana en una industria textil de Arequipa. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2020, vol. 86, no 4, p. 428-438.
17. GUTIÉRREZ BARRAGÁN, Lina Rocío. Diseño de un fotobiorreactor para la producción de biomasa a partir de la luz solar. 2017. Tesis de Licenciatura. Fundación Universidad de América.
18. HERNANDEZ RAMÍREZ, Miriam Rebeca. Efecto de la temperatura en el crecimiento de microalgas y la remoción de nutrientes en agua de invernaderos. 2019.
19. Hernández, R., Fernández C. y Baptista L. (2014). *Metodología de la investigación* (5^{ta} ed.). México: McGraw-Hill.
20. HERNÁNDEZ-SAMPIERI, Roberto; TORRES, Christian Paulina Mendoza. *Metodología de la investigación*. México ed. F DF: McGraw-Hill Interamericana, 2018.
21. HERRERA PAREDES, Lucero Lizbeth; PRETEL ENRIQUEZ, Sheyla Allison. Análisis bibliométrico sobre los tratamientos aplicados en la remoción de cromo a partir de efluentes industriales. 2020.
22. KAI RU, Irene Tiong, et al. *Chlorella vulgaris*: A perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Applied Phycology*, 2020, vol. 1, no 1, p. 2-11.

23. LUPATINI, Anne Luize, et al. Potential application of microalga *Spirulina platensis* as a protein source. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2017, vol. 97, no 3, p. 724-732.
24. MADHUSUDHANAN, BADHUSHA & SARANYA, Bio sorption of chromium from aqueous solution by *Chaetomorpha antennina*. *Journal of Environmental Biology*. pág.743-747, 2019.Disponible en: [http://doi.org/10.22438/jeb/40/4\(SI\)/JEB_03](http://doi.org/10.22438/jeb/40/4(SI)/JEB_03)
25. MONTOYA, Nancy Piedad Molina; CASAS, Patricia Aguilar; WANDURRAGA, Clemencia Cordovez. Plomo, cromo III y cromo VI y sus efectos sobre la salud humana. *Ciencia y Tecnología para la salud visual y ocular*, 2010, vol. 8, no 1, p. 77-88.
26. MUÑIZ, Rafael. Los fotobiorreactores de microalgas: Un recurso para el tratamiento terciario de aguas residuales. *Tekhné*, 2019, vol. 22, no 3.
27. NIÑO CASTILLO, Clara Milena, et al. Evaluación de las condiciones de crecimiento celular para la producción de astaxantina a partir de la microalga *Haematococcus pluvialis*. *Nova*, 2017, vol. 15, no 28, p. 19-31.
28. OCHOLLA, Dennis N.; ONYANCHA, Omwoyo Bosire; OCHOLLA, Lyudmila. Una visión general de la colaboración en la investigación del calentamiento global en África, 1990-20081. *The Janus Faced Scholar*,p. 159.
29. PANT, G., SINGH, A., PANCHPURI, M., PRASUNA, R. G., HOSSAIN, K., ABBAS, S. Z., AHMAD, A., ISMAIL, N., & RAFATULLAH, M. Enhancement of biosorption capacity of cyanobacterial strain to remediate heavy metals. *DESALINATION AND WATER TREATMENT*, 165, 244–252, 2019. <https://doi.org/10.5004/dwt.2019.24509>
30. RAHMAN, M et al. Poly (hydroxamic acid) ligand from palm-based waste materials for removal of heavy metals from electroplating wastewater. *Journal of Applied polymer*. pág. -16, 2020.Disponible en: <https://doi.org/10.1002/app.49671>
31. ROCHA, G. VENDRUSCOLO, F., & ANTONIOSI, N. Biosorption of hexavalent chromium by *Pleurotus ostreatus*. *Heliyon*. vol. 5, n° 3, pág. 1-14, 2019.Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01450>

32. SALAS RAMIREZ, Juver Brayan. Degradación de Colorantes en Efluentes Provenientes de Industrias Textiles Usando Proceso de Oxidación Avanzada. Tesis de grado, 2020.
33. SANTOS, Carla Escapa. Biorrelación de aguas contaminadas con nutrientes y fármacos mediante microalgas. 2017. Tesis Doctoral. Universidad de León.
34. SHAHID, Ayesha, et al. Potencial bioenergético de la biomasa residual de microalgas producida en aguas residuales de la ciudad evaluada a través de estudios de pirólisis, cinética y termodinámica para diseñar la biorrefinería de algas. *Tecnología de biorecursos*, 2019, vol. 289, p. 121701.
35. SHUYU Guo, et al. Speciation, toxicity, microbial remediation and phytoremediation of soil chromium contamination. *Environmental Chemistry Letters*, 2021, vol. 19, no 2, p. 1413-1431.
36. SILVA, Jesie C., et al. Mejora de las propiedades adsorptivas de biomateriales mediante modificaciones químicas en la eliminación de antibióticos. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 2018, vol. 84, no 2, p. 183-196.
37. SWAROOP, A., et al. Benefits of chromium (III) complexes in animal and human health. En *The Nutritional Biochemistry of Chromium (III)*. Elsevier, 2019. p. 251-278.
38. TELLEZ MELO, Elizabeth, et al. Evaluación del potencial de biosorción de Cromo mediante microalgas nativas aisladas del Rio Tunjuelito en Bogotá DC, para descontaminación por cromo hexavalente. 2020.
39. VALENZUELA MEJÍAS, Santiago Tomás. *Aplicación de bacterias resistentes a metal (oid) es para la remoción de estos contaminantes desde matrices acuosas*. 2018. Tesis Doctoral. Universidad Andrés Bello.
40. ZHENG, Chujing, et al. Application of biochars in the remediation of chromium contamination: Fabrication, mechanisms, and interfering species. *Journal of Hazardous Materials*, 2021, vol. 407, p. 124376.

ANEXOS

Anexo N° 01 Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICION TEÓRICA	DEFINICIÓN OPERATIVA	DIMENSIONES	INDICADORES	TIPO ESTADISTICO	ESCALA	INSTRUMENTOS
Variable Dependiente: Cromo en efluente	Está considerado como un metal pesado, es de color gris abrigillado, tiene como numero atómico 24 e integra el grupo VI de la tabla periódicos de elementos químicos. Asimismo, el cromo (Cr) en efluentes ha suscitado una gran preocupación pública debido a su amplia distribución y sensibilidad redox (Zheng et al., 2021).	El cromo en concentraciones elevadas en efluentes es un problema ambiental producto de las actividades antropogénicas, por ello es necesario saber los valores de cromo.	Nivel de metales	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración inicial - Concentración final - Conductividad 	Cuantitativa	Razón	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha de recolección de datos - Cadena de custodia - Informe de ensayo - Ficha de campo D.S. 004-2017-MINAM - Reporte Fotográfico
Variable Independiente: Biosorción con microalga	Es la capacidad que los materiales de origen biológico tienen para adherir o ligar metales tóxicos a su pared o membrana celular a través de interacciones entre los iones metálicos y los grupos funcionales de los biosorbentes (Escobedo, 2018).	La biosorción mediante microalgas en medio vivo es una alternativa que se está investigando para su uso en efluentes que contengan metales pesados.	Concentración. Condiciones Operativas	<ul style="list-style-type: none"> - Concentración optima (gramos/litro) - Tiempo - pH 	Cuantitativa	Razón	

Fuente: elaboración propia



Anexo N° 02 Expediente para validar los instrumentos

**EXPEDIENTE PARA VALIDAR LOS
INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN A TRAVÉS DE
JUICIO DE EXPERTOS**



CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor (a): Ing. Prado Fernández Juan Guillermo

Presente:

Asunto: “Validación de instrumento a través de Juicio de expertos”

Me es grato comunicarme con usted para expresarle mis saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo Bachiller de Ingeniería Ambiental de la Universidad Cesar Vallejo, en la sede de Lima Este, y siendo requisito la validación de los instrumentos con las cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación, gracias a la cual optaré el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.

El título de mi proyecto de investigación es “Biosorción de Cromo de Efluentes de la Industria Textil mediante el uso de Microalgas en la ciudad de Arequipa, 2022” y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas ambientales y/o investigación ambiental.

El expediente de validación, adjunto al presente, contiene:

1. **Anexo N°01:** Matriz de operacionalización.
2. **Anexo N°02:** Diagrama de flujo del método para extraer datos de las Variables de concentración de Cromo y biosorción, en efluentes de la industria textil, en la ciudad de Arequipa.
3. **Anexo N°03:** Instrumentos de recolección de datos de concentración de Cromo.
4. **Anexo N°04:** Instrumentos de recolección de datos de la Biosorción realizada por microalgas.
5. **Anexo N°05:** Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresándole mi sentimiento de respeto y consideración me despido de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente.

Sumalave Cutire Cristal Lucero

DNI: 72727972

Anexo N°01: Matriz de Operacionalización

Biosorción de Cromo de Efluentes de la Industria Textil mediante el uso de Microalgas en la ciudad de Arequipa, 2021								
PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	MARCO CONCEPTUAL	MARCO OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	UNIDAD
General	General	General	V1 "Cromo en efluente"	Está considerado como un metal pesado, es de color gris abrigantado, tiene como numero atómico 24 e integra el grupo VI de la tabla periódicos de elementos químicos. Asimismo, el cromo (Cr) en efluentes ha suscitado una gran preocupación pública debido a su amplia distribución y sensibilidad redox (Zheng et al., 2021).	El cromo en concentraciones elevadas en efluentes es un problema ambiental producto de las actividades antropogénicas, por ello es necesario saber los valores de cromo.	Nivel de metales	Concentración inicial	mg/l
¿Cuán eficiente es la biosorción de cromo mediante el uso de microalgas, en los efluentes de la empresa textil Michell SA. en Arequipa?	Evaluar la eficiencia de biosorción de cromo contenido en los efluentes de la empresa Textil Michell SA, mediante la utilización de microalgas.	La biosorción mediante el uso de microalgas es eficiente en la remoción de Cromo (Cr) de los efluentes de la industria de textiles en Arequipa, 2021.					Concentración final	mg/l
							Conductividad	(S/cm)
Específicos	Específicos	Específicos	V2 "Biosorción con microalgas"	Es la capacidad que los materiales de origen biológico tienen para adherir o ligar metales tóxicos a su pared o membrana celular a través de interacciones entre los iones metálicos y	La biosorción mediante microalgas en medio vivo es una alternativa que se está investigando	Concentración. Condiciones	Concentración óptima	g/l
<ul style="list-style-type: none"> ¿Cuáles son las características de las microalgas que se utilizarán en la biosorción de cromo? ¿Qué tipo de microalgas será la 	<ul style="list-style-type: none"> Identificar las características de las microalgas en la biosorción de cromo. Determinar la concentración de microalga a 	<ul style="list-style-type: none"> Las características de las microalgas son favorables para la biosorción de cromo de los efluentes de la 					Tiempo	horas
							pH	0 - 14

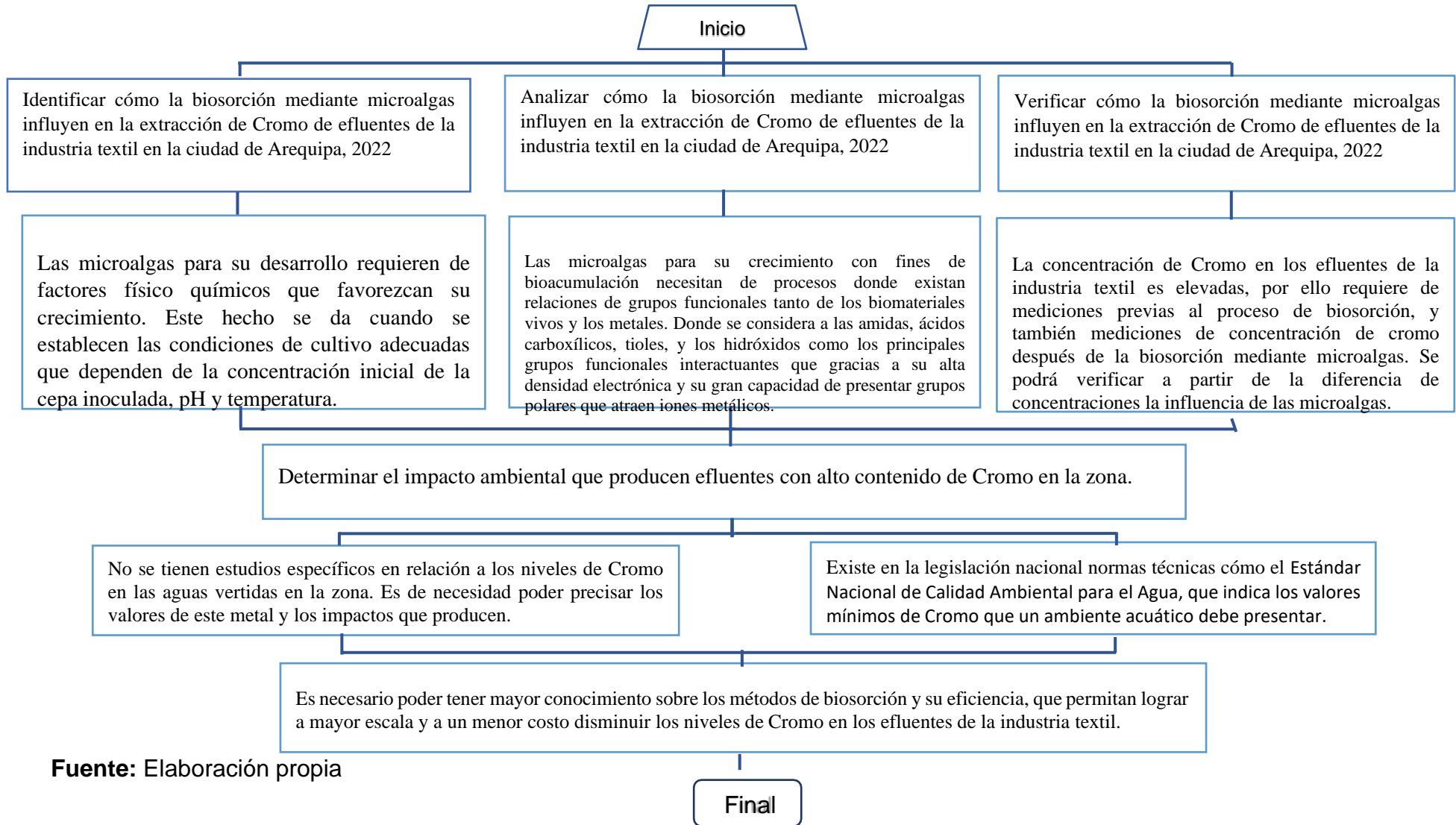


<p>más efectiva en la biosorción?</p> <ul style="list-style-type: none">• ¿Será efectivo el uso de microalgas para la biosorción de cromo en las aguas residuales	<p>inocular en las muestras de efluentes.</p> <ul style="list-style-type: none">• Determinar la concentración de Cromo removida debido a la	<p>industria textil.</p> <ul style="list-style-type: none">• Existe una concentración adecuada para inocular en muestras de		<p>los grupos funcionales de los biosorbentes (Escobedo, 2018).</p>	<p>para su uso en efluentes que contengan metales pesados.</p>	<p>Operativas</p>	<p>Temperatura</p>	<p>°C</p>
---	---	---	--	---	--	-------------------	--------------------	-----------



de la industria textil?	biosorción mediante el uso de microalgas	efluentes de la industria textil. <ul style="list-style-type: none">• La biosorción mediante microalgas disminuye la concentración de cromo de los efluentes de la industria textil.						
-------------------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Anexo N°02: 1. Diagrama de flujo del método para extraer datos de las Variables de concentración de Cromo y biosorción con microalgas, en efluentes de la industria textil, en la ciudad de Arequipa.



Fuente: Elaboración propia

Anexo N°03: Instrumentos de recolección de datos para la primera variable



Variable Concentración de Cromo

Solicitante:

Muestra 1

Análisis físico químico de agua de efluente				
Solicitante				
Datos de Muestreo				
Punto de muestreo				
Distrito				
Provincia				
Departamento				
Fecha de muestreo			Hora:	
Tipo de cuerpo de agua				
Preservada:			Reactivo:	
Parametro	inicial	final	inicial	final
Concentración (mg/l)				
Conductividad (S/cm)				

Fuente: Elaboración propia



Anexo N°04: Instrumentos de recolección de datos para la Variable Segunda



Biosorción mediante microalgas

Análisis físico químico de agua posterior al tratamiento				
Solicitante				
Datos de Muestreo				
Punto de muestreo				
Distrito				
Provincia				
Departamento				
Fecha de muestreo			Hora:	
Tipo de cuerpo de agua				
Preservada:			Reactivo:	
Biosorción	Cepa espirulina		Cepa chlorella	
Parametro	inicial	final	inicial	final
Concentración Óptima (gramos/litro)				
Tiempo				
pH				
Temperatura				

Fuente: Elaboración propia

ANEXO N°05: CERTIFICADO DE VALIDACIÓN DE INSTRUMENTO DE INVESTIGACIÓN

I. DATOS GENERALES

1.1. Apellidos y Nombres del validador: Ing. Prado Fernández Juan Guillermo

1.2. Cargo e institución donde labora: Jefe de Área de producción de SPIRUMISTI S.A.C.

1.3. Especialidad del validador: Ing. Gestión Ambiental

1.4. Nombre del instrumento: Ficha de registro de datos

1.5. Título de la investigación:

“Biosorción de cromo de efluentes de la industria textil mediante el uso de microalgas en la ciudad de Arequipa – 2022”

1.6. Autor del instrumento:

II. ASPECTOS DE VALIDACIÓN

CRITERIOS	INDICADORES	Deficiente 00-20%	Regular 21-40%	Buena 41-60%	Muy buena 61-80%	Excelente 81-100%
1. Claridad	Está formulado con lenguaje apropiado y específico.			x		
2. Objetividad	Está expresado en conductas observables.				x	
3. Actualidad	Adecuado al avance de la ciencia y tecnología					x
4. Organización	Existe una organización lógica.				x	
5. Suficiencia	Comprende los aspectos en cantidad y calidad.			x		
6. Intencionalidad	Adecuado para valorar aspectos de las estrategias				x	
7. Consistencia	Basados en aspectos teóricos-científicos.				x	
8. Coherencia	Entre los índices, indicadores y dimensiones			x		
9. Metodología	La estrategia responde al propósito del diagnóstico				x	
10. Pertinencia	El instrumento es funcional para el propósito de la investigación.				x	
PROMEDIO DE LA VALIDACIÓN						

III. PERTINENCIA DE LOS ÍTEMS

 **Primera variable:** Concentración de Cromo

DIMENSIÓN	INDICADORES	Suficiente	Medianamente suficiente	Insuficiente
Concentración	Miligramos por litro (mg/l)	x		
Conductividad	Siemens por centímetro (S/cm)	x		

Segunda Variable: Biosorción mediante microalgas

DIMENSIÓN	INDICADORES	Suficiente	Medianamente suficiente	Insuficiente
Concentración Óptima	Gramos por litro (g/l)	x		
pH	0 - 14	x		
Tiempo	Horas	x		

IV. PROMEDIO DE VALORACIÓN: 65 %

- (x) El instrumento puede ser aplicado, tal como está elaborado.
- () El instrumento debe ser mejorado antes de ser aplicado.

Arequipa, 25 de febrero de 2022




 Firma del experto informante

DNI N°: 43862207 Teléfono N°: 054-231037 / 977137556

ANEXO N°03: Certificado de análisis de laboratorio



Laboratorio de
Investigación y Servicios
LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE	10428-22
CLIENTE:	CRISTAL LUCERO SUMALAVE CUTIRE
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO:	SOLUCIÓN
CANTIDAD DE MUESTRA:	03
FECHA DE RECEPCIÓN:	Miércoles 2 de marzo del 2022
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:	FRASCOS DE VIDRIO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Viernes 11 de marzo del 2022
REFERENCIA:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
CÓDIGO DE MUESTRA:	16174

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

Página 1 de 2

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°:10428-22


ANÁLISIS DE:	CÓDIGO DE MUESTRA	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo Total	A1 A	ppm	6.3616	Método Espectrofotométrico
	A1 B		7.1241	
	A1 C		6.6410	
Cromo VI	A1 A	ppm	2.8627	Método Espectrofotométrico
	A1 B		2.9102	
	A1 C		2.8851	
OBSERVACIONES:				

Emitido en Arequipa el 11 de marzo del 2022

Página 2 de 2



Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348

Lic. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE	11526-22
CLIENTE:	CRISTAL LUCERO SUMALAVE CUTIRE
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO:	SOLUCIÓN
CANTIDAD DE MUESTRA:	09
FECHA DE RECEPCIÓN:	Jueves 10 de marzo del 2022
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:	FRASCOS DE VIDRIO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Lunes 21 de marzo del 2022
REFERENCIA:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
CÓDIGO DE MUESTRA:	18844

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.

ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV


INFORME DE ENSAYOS
REPORTE N°:11526-22

ANÁLISIS DE:	CÓDIGO DE MUESTRA	UNIDAD	RESULTADOS	MÉTODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo Total	A1 A	ppm	6.607	Método Espectrofotométrico
	A1 B		6.601	
	A1 C		6.606	
	A2 A		0.301	
	A2 B		0.293	
	A2 C		0.289	
	A3 A		0.398	
	A3 B		0.381	
	A3 C		0.379	
Cromo VI	A1 A	ppm	2.975	Método Espectrofotométrico
	A1 B		2.970	
	A1 C		2.973	
	A2 A		0.135	
	A2 B		0.132	
	A2 C		0.130	
	A3 A		0.179	
	A3 B		0.170	
	A3 C		0.171	
OBSERVACIONES:				

Emitido en Arequipa el 21 de marzo del 2022

Página 2 de 2


Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
 RCQP - 348


Lic. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
 RCQP - 842

INFORME DE ENSAYOS

N° DE REPORTE	11527-22
CLIENTE:	CRISTAL LUCERO SUMALAVE CUTIRE
DIRECCIÓN:	AREQUIPA
ENSAYO SOLICITADO:	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO
PRODUCTO:	SOLUCIÓN
CANTIDAD DE MUESTRA:	09
FECHA DE RECEPCIÓN:	Jueves 10 de marzo del 2022
CARACTERÍSTICAS Y CONDICIONES:	FRASCOS DE VIDRIO
FECHA DE ENTREGA DE RESULTADOS:	Lunes 21 de marzo del 2022
REFERENCIA:	MUESTRA PROPORCIONADA POR EL CLIENTE
CÓDIGO DE MUESTRA:	18853

LOS RESULTADOS OBTENIDOS CORRESPONDEN AL ANÁLISIS SOLICITADO EN LA MUESTRA RECIBIDA.
ESTE FORMATO NO SERÁ REPRODUCIDO SIN AUTORIZACIÓN DEL LABORATORIO LABINVSERV

INFORME DE ENSAYOS

REPORTE N°:11527-22

ANÁLISIS DE:	CÓDIGO DE MUESTRA	UNIDAD	RESULTADOS	METODO DE ENSAYO APLICADO NORMA/REFERENCIA/NOMBRE
Cromo Total	B1 A	ppm	6,523	Método Espectrofotométrico
	B1 B		6,556	
	B1 C		6,547	
	B2 A		0,331	
	B2 B		0,329	
	B2 C		0,325	
	B3 A		0,352	
	B3 B		0,355	
	B3 C		0,349	
Cromo VI	B1 A	ppm	2,935	Método Espectrofotométrico
	B1 B		2,950	
	B1 C		2,946	
	B2 A		0,149	
	B2 B		0,148	
	B2 C		0,146	
	B3 A		0,158	
	B3 B		0,160	
	B3 C		0,157	
OBSERVACIONES:				

Emitido en Arequipa el 21 de marzo del 2022

Página 2 de 2



Dr. Juan Reyes Larico
Jefe de Laboratorio
RCQP - 348




Lic. Fredy Valdivia Peña
Químico Responsable
RCQP - 842

ANEXO N°04: Carta de autorización



GRUPO MICHELL
Piensa Alpaca... Piensa Michell
Michell y Cia. 2022 Todos los derechos reservados

CARTA DE AUTORIZACIÓN DE USO DE INSTALACIONES PARA EFECTOS DE INVESTIGACIÓN

Yo, Gonzalo Zúñiga Álvarez, Gerente de operaciones de la empresa MICHELL Y CIA. S.A. con RUC 20100192650 y con dirección legal en Av. Juan de la Torre N° 101, San Lázaro – Arequipa.

AUTORIZO a la Bach. Cristal Lucero Sumalave Cutire, el uso de áreas de la empresa para el desarrollo de su proyecto de investigación titulado: *"Biosorción de cromo de efluentes de la industria textil mediante el uso de microalgas en la ciudad de Arequipa – 2022"*. Dicha autorización comprende:

- El uso de exteriores del área de influencia de la planta de acabados en Parque Industrial de Jacinto Ibáñez.
- La toma de muestras en horarios y días de operación de la planta.

Asimismo, considerar que puede mencionar el nombre de la empresa sólo para fines de su estudio.

Arequipa, 25 de febrero del 2022.



Gonzalo Zúñiga Álvarez
Gerente de operaciones de la empresa MICHELL Y CIA. S.A.

