



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA  
AMBIENTAL

“Evaluación de las técnicas de remoción de cromo en aguas  
residuales industriales”

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE: Ingeniero  
Ambiental

**AUTORES:**

Chumán Méndez, Frank Mayk (ORCID: 0000-0003-4842-6476)

Melo Gariza, Baltazar Asunción (ORCID: 0000-0002-4067-6211)

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Calidad y gestión de los recursos naturales

**TRUJILLO – PERÚ**

**2021**

## **Dedicatoria**

Primeramente, este proyecto de tesis dedicamos principalmente a Dios y a nuestros padres quienes están presentes y quienes fueron nuestros guías, que siempre estuvieron a nuestro lado alentándonos para continuar. A nuestras familias que nos motivaron a culminar con satisfacción esta investigación.

Así mismo a nuestro asesor el Ingeniero José Alfredo Cruz Monzón por sus enseñanzas que nos ha brindado y compartido.

Por último, le dedicamos a las personas que pensaron que no culminaríamos la carrera satisfactoriamente, a pesar de las circunstancias que nos tocó vivir y aun así alcanzamos la metas porque nunca abandonamos nuestro sueño.

Los autores.

## **Agradecimiento**

Principalmente agradecer a Dios por permitirnos culminar de forma satisfactoria este trabajo de investigación en esta etapa tan difícil que nos tocó afrontar. También agradecer a nuestras familias que fueron nuestro motor y motivo incondicional en toda nuestra vida y lo más importante en nuestra vida profesional. Así mismo agradecer a las personas que confiaron en nosotros brindándonos palabras de aliento y sumándonos para poder estar presentes en este trabajo de investigación.

Agradecer a nuestro asesor el Ingeniero José Alfredo Cruz Monzón por caminar con nosotros y guiarnos siempre, por la paciencia en cada clase en el desarrollo de nuestro trabajo de investigación.

Por último, agradecemos a la Universidad Cesar Vallejo por darnos una educación de calidad, a los docentes por sus enseñanzas quienes nos brindaron sus conocimientos y el apoyo para llegar a nuestra meta.

Los autores.

## Índice de Contenidos

Caratula	
Índice de contenidos	IV
Índice de tablas	V
Índice de figuras	VI
Resumen	VII
Abstract	VIII
I. INTRODUCCIÓN	01
II. MARCO TEÓRICO	04
III. METODOLOGÍA	11
3.1. Tipo y diseño de investigación	11
3.2. Categoría, subcategorías y matriz de categorización	11
3.3. Escenario de estudio	11
3.4. Participantes	12
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	13
3.6. Procedimiento	14
3.7. Rigor científico	15
3.8. Método de análisis de datos	15
3.9. Aspectos éticos	15
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	16
V. CONCLUSIONES	34
VI. RECOMENDACIONES	35
REFERENCIAS	36
ANEXOS	

## Índice de tablas

	Página
<i>Tabla 01:</i> Criterio de inclusión	12
<i>Tabla 02:</i> Palabra claves en búsqueda primaria de artículos	13
<i>Tabla 03:</i> Artículos seleccionados por año de publicación	16
<i>Tabla 04:</i> Artículos seleccionados y criterios de inclusión	17
<i>Tabla 05:</i> Técnicas aplicadas en los artículos seleccionados	21
<i>Tabla 06:</i> Procesos en técnicas en la búsqueda de artículos	26
<i>Tabla 07:</i> Condiciones de remoción de cromo	30

## Índice de figuras

	Página
<i>Figura 01:</i> Procedimiento de investigación	14
<i>Figura 02:</i> Técnicas de remoción de cromo más utilizadas	24
<i>Figura 03:</i> Procesos en la remoción de cromo	28
<i>Figura 04:</i> Condiciones de remoción según técnicas aplicadas	33

## Resumen

El creciente desarrollo del sector industrial ha generado un incremento en la problemática de la contaminación del agua por metales pesados el cual es causado por acción antrópica (empresas industriales) o por accidentes (vertimientos ocasionales) que afectan los ecosistemas, la salud pública e indirectamente a la economía. Es por ello que se propuso como objetivo evaluar las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales que han demostrado mayor efectividad. La investigación fue de tipo básica, descriptiva, longitudinal y corresponde a una revisión sistemática sin meta análisis, para lo cual se realizó una búsqueda de artículos de acceso libre de las bases de datos Scielo, Science Direct, Dialnet y Redalyc, donde tras aplicar criterios de inclusión previamente establecidos, se seleccionaron 17 artículos. Los resultados de la evaluación muestran que las técnicas de remoción más efectivas reportadas fueron la biosorción, biocarbón, sorbente abiótico, carbón activado y la electrocoagulación, cuyas eficiencias fueron del 99.9%, 99.3%, 98.2% y 98% respectivamente. Se concluye que la técnica más utilizada y de mayor eficiencia de remoción de cromo en aguas residuales es la biosorción, la cual muestra varias ventajas frente a la electrocoagulación.

Palabras clave: agua residual, cromo, remoción, técnica

## **Abstract**

The growing development of the industrial sector has generated an increase in the problem of water contamination by heavy metals which is caused by anthropic action (industrial companies) or by accidents (occasional pourings) that affect ecosystems, public health and indirectly to the economy. That is why it was proposed to evaluate chromium removal techniques in industrial wastewater that have demonstrated greater effectiveness. The research was basic, descriptive, longitudinal and corresponding to a systematic review without target analysis, for which a search for free access articles was performed from the SciELO, Science Direct, Dialnet and Redalyc databases, where after applying criteria Inclusion previously established, 17 articles were selected. The results of the evaluation show that the most effective removal techniques reported were biosorption, biofin, abiotic sorbent, activated carbon and electrocoagulation, whose efficiencies were 99.9%, 99.3%, 98.2% and 98% respectively. It is concluded that the most used technique and greater efficiency of chromium removal in wastewater is biosorption, which shows several advantages over electrocoagulation.

Key words: wastewater, chromium, removal, technique.

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos 20 años, se ha incrementado la preocupación por la presencia de contaminantes en los distintos efluentes industriales, los cuales generalmente cuentan con cargas excesivas de metales pesados entre los cuales principalmente se destaca el cromo proveniente de la etapa de curtido. Estos metales pesados pueden estar en el medio ambiente libremente o involucrarse en la estabilidad existente entre ecosistemas logrando afectar la salud de las poblaciones ubicadas cerca a estos. Si bien sabemos estos pueden ser muy tóxicos al ingresar al organismo deteriorando la salud del ser humano, por lo que en altas concentraciones provoca: erupciones cutáneas, dolor estomacal, problemas respiratorios, debilidad en el sistema inmune. (Tejada, Villabona y Garcés, 2016, p.109-123).

En la actualidad, los altos índices de contaminación del agua, principalmente se dan por la presencia de cromo III, cromo VI, cromo total, que se encuentran en las aguas residuales provenientes de los procesos industriales, las cuales en muchas ocasiones son vertidas sin tener un tratamiento apropiado a los ríos y océanos. (Sevilla, S y Silva, 2018, p. 109-123)

la creciente problemática causada por la contaminación de metales pesados al recurso hídrico a escala global, impulsa a que se requieran métodos eficaces para la remediación, mitigación o minimización del impacto ambiental provocado por vertimientos de efluentes industriales, que por motivos de salud pública no deben ser arrojados a los cuerpos naturales de agua. (Soto, Landázuri y Loango, 2017, p. 49-54).

A las aguas residuales industriales se le debe realizar diferentes procesos de tratamientos para que cumpla con los parámetros presentes en la normativa ambiental vigente, pero la eliminación de metales pesados como el cromo resulta complejo. (Meneses, Patiño y Betancur, 2019 p. 141-152).

El metal pesado de más alto potencial contaminante es el cromo que se encuentra presente en las aguas residuales provenientes de las industrias. (Duarte, Verdel y Jaramillo, 2016, p. 290-295).

Hoy en día, los métodos que presentan para el tratamiento de efluentes industriales, implican la disminución del metal pesado cromo desde el Cr (III) hasta al Cr (VI), siendo este último más insoluble, esto nos impulsa a buscar técnicas nuevas con un alto potencial de remoción entre ellas tenemos: biorremediación, electrocoagulación, carbón activado y biosorción. (Chávarry y Valderrama, 2020, p. 1-71).

Los efluentes provenientes de procesos industriales como el de curtiembres están contaminados con cromo, siendo éste un alto factor de peligro al entorno vital y también para el bienestar de los seres humanos. Teniendo en cuenta que su límite máximo en la normativa española para vertimiento de cromo en aguas residuales en la actualidad tiene un valor de 2 mg de Cr/l. Por eso, en el país español es obligatorio que las empresas apliquen tecnologías para la prevención de contaminantes, y la recuperación de las aguas residuales. (López, 2016, p. 3).

El valor máximo admisible (VMA) se define como la concentración de elementos, sustancias o parámetros fisicoquímicos, que caracteriza un efluente no domestico que será descargado en la red de alcantarillado público, cuando excede sus valores máximos ocasiona daños de manera inmediata o permanente en las instalaciones e infraestructuras sanitarias. Los VMA, son de aplicación nacional y su cumplimiento es obligatorio para aquellos usuarios que realicen descargas de tipo no domesticas en la red de alcantarillado público; además las empresas prestadoras de servicios de saneamiento son las encargadas de exigir su cumplimiento. Según el D.S. N°010-2019 vigente que limita las concentraciones máximas de cromo para las aguas residuales que son vertidas a los alcantarillados sanitarios. El cromo total en aguas residuales debe tener un valor de 10 mg/l y el cromo (Cr) hexavalente (Cr+6) debe tener un valor de 0.5.mg/l. (El peruano, 2019, p.17).

Los límites máximos permisibles (LMP) Se definen como la medida de concentración que caracterizan a un efluente, que cuando es excedido provoca o puede generar perjuicios al ambiente y salud pública. Según, el D.S. N°003-2002-PRODUCE vigente que limita los parámetros de efluentes industriales vertidos en aguas superficiales, donde la concentración máxima permitida para cromo VI es de 0.3 mg/L (en curso) y 0.2 mg/L (nueva) y en lo que es el cromo total es de 2.5 mg/l

en curso (es para aquellas empresas que estaban operando antes de entrar en vigencia del presente decreto) y 0.5 mg/l nueva (es aquella empresa que inicia sus actividades desde el momento de entrada en vigencia del presente decreto). (El peruano, 2002, p. 23092).

Ante la situación descrita, se formuló el siguiente problema general para realizar esta investigación sistemática. ¿Cuáles son las técnicas de remoción de cromo aplicadas a las aguas residuales generadas por las industrias que han demostrado eficiencia y que han sido reportadas en las bases de datos indexadas?

La Justificación de esta investigación se basa en que la presencia del cromo en los vertimientos de los efluentes industriales causa un gran daño a la salud pública, así como al medio ambiente debido a esto es de vital importancia que estas aguas sean tratadas, por lo que se propone el siguiente objetivo general, evaluar las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales que han demostrado mayor efectividad. Así mismo, se plantean como objetivos específicos: Evaluar las técnicas de remoción de cromo más utilizadas en la base de datos indexadas, Evaluar los tipos de procesos que emplean las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales y Evaluar la mejor condición de remoción según las técnicas encontradas.

## II. MARCO TEORICO

Meneses Yeni, Patiño Paula y Betancur, Jhon (2019), en su artículo titulado “Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa *Spirulina sp*, sedimentación primaria y precipitación química”, se propuso examinar y equiparar la remoción de cromo de efluentes de empresas metal-mecánicas. Se basó en que ciertas industrias usan como suministro metales pesados para sus procesos industriales como el cromo, también nos dio a conocer y destacar el uso de microalgas para la reducción de contaminantes que tienen las condiciones necesarias para ser utilizadas en remoción del cromo en las aguas residuales, la muestra fue de una empresa metalmeccánica con un valor de cromo total de 32,56 mg/L en sus efluentes industriales y el muestreo fue realizado en cada una de las empresas del sector metalmeccánico de la ciudad de Manizales donde se realizaron los análisis de Cr total respectivamente. En esta técnica de biorremediación el tratamiento que logro mejor porcentaje de remoción de cromo total fue el de biomasa viva logrando 96.50% en 24 horas, con la biomasa muerta se obtuvo un porcentaje de remoción de 30,70%. Se concluyó que la biomasa viva genera mejor remoción de cromo total en un tiempo de 24 horas, esto debido a que la biomasa viva retiene los contaminantes a medida que las microalgas se degeneran mientras que la biomasa muerta, en función a su degradación va liberando cromo, lo que significa un menor tiempo en comparación con la biomasa viva.

Mayta Roddy y Mayta Jhony (2017), en su artículo titulado “*Remoción de cromo y demando química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación*”, nos dio a conocer los efectos del proceso de la técnica de electrocoagulación por lote en la remoción del cromo III de las aguas residuales de curtiduría. se basó en que la toxicidad de los excedentes del curtido del cromo III es baja en comparación con el cromo VI. Siendo la electrocoagulación una técnica que presenta múltiples ventajas para ser utilizada en el tratamiento de aguas residuales y el DQO un parámetro eficiente para estimar cuanta cantidad de oxígeno requieren los vertidos de la industria, donde una alta concentración de cromo puede generar la pérdida del oxígeno presente en las aguas con las que tienen contacto. La población de estudio fue los efluentes provenientes proceso de curtido de pieles de ovino del Centro de Investigación y Producción de la Facultad de Ingeniería Química

– UNAP, fueron 11 muestras tomadas en recipientes de plásticos de 15L – los cuales fueron debidamente rotulados. Los instrumentos fueron: análisis fisicoquímico de las 11 muestras, donde se analizaron parámetros como pH, conductividad eléctrica, temperatura (físicos), cromo III – DQO químicos) y se calculó el porcentaje de remoción del Cromo III y el DQO, antes y después del proceso de electrocoagulación en el que fueron sometidas las 11 muestras, luego de ellos los resultados de porcentaje de remoción obtenidos pasaron por un análisis estadístico. Los principales resultados fueron que los tratamientos presentaron incrementos en los parámetros de pH y la temperatura pero a su vez presentó disminuciones en la conductividad eléctrica durante la electrocoagulación; de los tratamientos realizados en la ECO3 y ECO4 fueron los que tuvieron menores niveles de cromo III y DQO, de la misma manera, fueron los que tuvieron una mayor tasa de remoción, logrando un porcentaje de remoción de 96,66% para Cromo III y 42,59% para DQO en el tratamiento ECO3 y en el tratamiento ECO4 se logró un porcentaje de remoción de 97,72% para Cromo III y 47,78% para DQO, siendo ambos tratamientos los más eficientes en comparación con los otros tratamientos que se emplearon en el proceso de electrocoagulación. Se concluyó que la electrocoagulación usada para analizar las muestras de aguas residuales de curtiembres, permitió la remoción significativa del contenido del cromo trivalente y del DQO

Artunduaga, Fabián (2015), en su artículo titulado “*Tratamientos para la remoción de cromo presente en aguas residuales*”, el objetivo realizar una selección de literatura relacionada con la eficiencia de los sistemas de tratamientos de aguas residuales industriales contaminadas con cromo hexavalente. Se basó en una recopilación exhaustiva de información, de manera bibliográfica sobre sistemas de tratamiento, usadas para remoción de cromo VI, en distintas empresas que implementan este metal pesado como insumo para sus procesos productivos, así también, se recolectó información relacionada a los procesos que se implementaron para dicho tratamiento de aguas residuales que se hallen contaminados con cromo VI y su respectivo, grado de eficiencia para su remoción, para ello, solo se tuvo en cuenta las alternativas usadas en el tratamiento terciario, ya que es en este tratamiento donde se eliminan los contaminantes peligrosos tanto para la salud,

como para el medio ambiente, entre ellos el cromo VI, que es frecuentemente usado en las actividades industriales. Los resultados principales fueron que, en el tratamiento terciario, los tratamientos convencionales usados para remover el cromo VI son: Intercambio iónico, osmosis inversa, ultrafiltración. Precipitación química, electrodiálisis y también hace mención a la tecnología de membrana, en tanto en los tratamientos no convencionales o alternativos encontramos los siguientes: Bio-absorbentes y utilización de sistemas vivos (microorganismos y plantas) para la remoción de cromo VI. Se concluyó que la eficiencia respecto a la remoción de metales pesados si se implementa tratamientos terciarios convencionales dentro de las PTAR'S, son considerablemente altas (más del 90%), existiendo algunos casos cuyo porcentaje de remoción llegaba aproximadamente a los 99%, pero estos sistemas se ven limitados debido a sus altos costos y a la tecnología, con respecto, a los tratamientos terciarios no convencionales no se encontró en la revisión literaria alguna implementación de estos tratamientos, solo se encontró la aplicación de bioadsorbente a escala de laboratorio para remover cromo VI, teniéndose resultados alentadores, donde se registran porcentajes de remoción superiores al 80% de este metal pesado en las muestras de aguas residuales analizadas.

Ordoñez, Didier y Benítez, Neyla (2019), en su artículo titulado "*Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembre mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de Yarrowia lipolytica Y Candida fluvialilis*", su objetivo fue evaluar la capacidad de remoción de cromo trivalente en aguas del curtido del cuero a partir de microorganismos acidófilos, nativos de aguas residuales de curtiembre, en biorreactores tipo lote. Se basó primero, en diseñar medios de cultivos para el aislamiento de microorganismos acidófilos de curtiembre, esto se realizó con la finalidad de aislar a aquellos microorganismos resistentes al cromo III, para lo cual se diseñaron cinco medios de cultivo, segundo se procedió con la siembra y el aislamiento de microorganismos en estos medios, tercero, se procedió a la remoción de cromo trivalente de agua residual de curtiembres en ensayos tipo lote con matraces Erlenmeyer y por último, donde se describieron características de las colonias como: forma, tamaño, elevación, borde y topografía. La muestra y el muestreo del estudio fue agua residual tomada a la salida de una curtiembre, en frascos de vidrios de 1L (siendo esterilizados previamente), en el sitio de muestreo

se midieron los siguientes parámetros: T°, pH, C. E y O. D), luego las muestras fueron transportadas debidamente refrigerada a una temperatura de 4°C hacia un laboratorio para su debido análisis y procesamiento. Los resultados principales fueron: los parámetros analizados de la muestra inicial indican una alta concentración de cromo y un pH ácido (muestra agua residual de curtido), la remoción de cromo III, en el biotratamiento fue muy significativa a la muestra testigo, indicando que la arena tuvo una alta influencia en la captura del metal. Se concluyó que se pudo demostrar la viabilidad y eficiencia de un biotratamiento empacado con arena como lecho de soporte y de la asociación de *Y. lipolítica* LCIA y *C. fluviátiles* LPH para remover cromo III en aguas residuales del proceso de curtido, además este sistema biótico-abiótico es posible escalarlo para que pueda ser utilizado en la biodepuración de efluentes de curtiembres gracias a su elevada eficiencia y alta productividad.

Rodríguez, Magda y Quezada, Medardo (2019), en su artículo titulado “*Remoción de cromo en efluentes de curtiembre por consorcio de levaduras del género Saccharomyces y Pichia*”. Su objetivo fue evaluar la capacidad de remoción de cromo aplicando un consorcio microbiano de levaduras *Saccharomyces cerevisiae* y *Pichia guilliermondi* en efluente de la industria curtiembre. Se basó primero en la obtención de biomasa del consorcio microbiano de estudio, donde se cultivó mediante un proceso microbiológico y se cosechó la misma cantidad de ambas levaduras (1g. de biomasa), se almacenaron a una temperatura de refrigeración de 4°C, segundo se acondicionaron 4 biorreactores para el experimento, tercero, se realizó un análisis fisicoquímico inicial a la muestra (aguas residuales, etapa del curtido) y se terminó dicha concentración de cromo total, cuarto, para el proceso de bioadsorción, se utilizaron 4 biorreactores de 250 ml, donde se adicionaron 150ml de muestra a una concentración de cromo total de 50ppm en 2 matraces y se agregó 1g de consorcio de levaduras (P+S), en tanto, en los otros 2 matraces se adicionaron 150ml de muestra a una concentración de cromo total de 100ppm y se adicionaron 1g de consorcio de levadura, luego de eso, los 4 biorreactores se incubaron por 24 horas, por último, la determinación del cromo total fue realizada mediante el método de espectrometría de absorción atómica. La población de estudio fue las aguas residuales de la etapa de curtido provenientes de la curtiembre INVERSIONES HAROUD S.A.C, las muestras fueron recolectadas en botellas de

vidrio de una capacidad de 2L las cuales estaban debidamente esterilizadas, las cuales fueron transportadas al laboratorio UCV-CIT MOCHE. Los principales resultados fueron la muestra inicial del efluente de la etapa de curtido que reportó un valor de 964,074ppm de Cr total, después de 24 horas de incubación, se obtuvo un porcentaje de remoción de los tratamientos en concentración de 50ppm y 100ppm fueron de 57,28% y 53,79%, habiendo una diferencia de 3.49% entre ambos tratamientos, donde el de 50ppm obtuvo la mayor remoción de cromo total. Se concluyó que el consorcio de levaduras (*S. cerevisiae* y *P. guillermondi*) tiene una capacidad de remoción de 57% y 54% a una concentración de 50ppm o 100ppm de cromo total respectivamente, además, la aplicación de estos consorcios microbianos constituye una alternativa viable en la biorremediación de efluentes de curtiembre esto debido a su costo y la contribución, la conservación del medio ambiente.

De la Torre, Juan, Echevarría, Dante, Álvarez, Jenny y Barreda, Nancy (2017), en su artículo titulado "*Remoción de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas*" tuvo como objetivo establecer un método rápido y eficaz, para la activación del carbón mineral, se basó en que este metal (cromo) es natural, tiene 9 estados de valencia, siendo que el cromo III y cromo VI son utilizados para: cromado, para la etapa de curtido de pieles y explosivos, el carbón se activa a través de procesos químicos o térmicos, y el uso de la radiación de microondas para una activación de carbón tiene ventajas como el ahorro de energía, la disminución del tiempo del procesamiento, y mejora la estructura de sus poros, de igual forma el calentamiento por microondas acelera la rapidez de las reacciones y aumenta los poros del carbón. los instrumentos empleados, primero se trituraron 120gr de carbón mineral los cuales fueron almacenados en bolsas con cierre, segundo, el carbón triturado fue lavado con ácido clorhídrico, tercero, para su activación se usó un 1gr de carbón, donde se sumergió a una cantidad de 100mL de peróxido de hidrógeno y por último para la cinética de remoción se trabajaron con dos escenarios con carbón mineral sin activas y activado, las lecturas se realizaron por un promedio de cada 20 minutos, durante 3 horas y 20 minutos de duración. Los resultados principales son para el carbón sin activar se llevó a un punto máximo de remoción de cromo total del 34% en 200 minutos, con respecto al carbón activado se llegó a un máximo de remoción de 41% de cromo total en la

misma cantidad de tiempo. Se concluyó que se debe tener en cuenta mayores tiempos de activación por ya que en la literatura se detalla un tiempo máximo de 2 horas para su activación.

Aguilar, Edwar, Marrufo, Liliana y Neyra, Walter (2019), en su artículo titulado *“Reduction of total chromium levels from raw tannery wastewater via electrocoagulation using response Surface methodology”*. Tuvo como objetivo de investigación determinar la eficiencia de remoción de Cr total en los efluentes de curtiembre mediante el método de electrocoagulación. Se basó en que la industria del curtido requiere grandes cantidades de agua y genera grandes cargas de contaminantes, siendo el cromo el insumo más utilizado en los procesos de curtido de las pieles, por lo que este contaminante presente en las aguas residuales tiene presencia riesgosa para la salud del ser humano, como el Cr. VI, que es considerado altamente cancerígeno, asimismo se refieren a la electrocoagulación como una alternativa de solución para los tratamientos convencionales de las aguas residuales de curtiembres con la finalidad de reducir o remover parcialmente o casi totalmente la carga de contaminantes. La población de estudio fue los efluentes industriales generados por los procesos de curtido del cuero realizados por el Centro de Innovación Tecnológica en Cuero, Calzado e Industrias Afines. Los instrumentos empleados fueron, primero, el reactor utilizado fue un lote de acrílico transparente de 20x15x25 cm<sup>3</sup> que tenía una capacidad para tratar seis litros de aguas de aguas residuales, adicionalmente se usaron 4 electrodos de aluminio para el ánodo y cuatro electrodos para el cátodo, pero debido a la alta conductividad se usó un espacio de 2cm entre placas para la reducción de necesidad de corriente eléctrica, segundo, se realizaron tres pruebas experimentales a tres niveles de pH: pH natural de las aguas residuales, pH neutro y pH ácido, a su vez, para cada nivel la intensidad de la corriente varió en 1,2,3 A y las muestras se tomaron después de 0, 7, 14, 21 minutos. Los resultados principales fueron que la eficiencia de la eliminación total del cromo aumenta con tiempo de tratamiento. En la mayoría de muestras, después de 14 min de tratamiento, las eficiencias superan el 90%; y a 2 A, las eficiencias alcanzan el 100%. Se concluyó que los resultados mostraron que la intensidad de la corriente, el tiempo de tratamiento y el pH afectaron significativamente el resultado final (eliminación del cromo total). estos porcentajes de remoción más elevado obtenidos fueron de un pH de 5,5 después de 14 minutos de

tratamiento, adicionalmente a una intensidad de corriente de 2,9 A, un pH de 8,4 y a un tiempo de tratamiento de 21 min, eran las condiciones óptimas para remover eficazmente el cromo total.

Voijant, Beiby, Berlianto, Malik y Kartika, Anak (2020), en su artículo titulado “*Deconcentration of Chromium Contained in Wastewater using a bacteria and microalgae consortia with a High-Rate Algal Reactor System*”. Tiene como objetivo de investigación utilizar un consorcio de bacterias *Azotobacter S8* y *Chiroella*, también microalgas *Vulgaris* para la eliminación de cromo en el agua. Se basó un grave problema que son los metales pesados para nuestro medio ambiente, siendo los causantes de esta contaminación las industrias, especialmente: la metalúrgica, la del curtido de pieles y las petroleras, además los niveles de toxicidad y movilidad del metal pesado cromo es determinado por sus números de oxidación, este último es considerado por la Agencia de protección ambiental de los E.E.U.U. como una química que representa una amenaza para el ser humano, así mismo, se encuentra clasificado como cancerígeno si es por inhalación, asimismo se propone a la Bioremediación una alternativa de solución prometedora y rentable, esta misma puede realizarse con distintos tipos de microorganismos como hongos, bacterias y microalgas mediante sus respectivos procesos biológicos. Se concluyó que la prueba de la bacteria *Azotobacter S8* y la prueba de la microalga *Chlorella Vulgaris*, mostraron el mismo resultado en donde ambos microorganismos son tolerantes al cromo hasta una concentración máxima de 17 mg/L. La mejor composición de la bacteria *Azotobacter S8* y las microalgas *Chlorella Vulgaris* en el proceso de remediación es de un 50% de bacterias y de 50% de microalgas a una proporción de inóculo 5:95%.

### **III. METODOLOGÍA**

#### **3.1. Tipo y diseño de investigación**

**3.1.1. Tipo de investigación:** La investigación realizada fue de nivel básico cualitativo descriptiva, lo cual se tuvo como finalidad poder buscar nuevos conocimientos para poder determinar el desarrollo del estudio con el propósito que sirva de base para otros investigadores.

#### **3.1.2. Diseño de investigación:**

El diseño fue de tipo no experimental con metodologías cualitativas, porque tuvo por finalidad explicar datos obtenidos de diversas bases de datos indexadas para poder determinar el desarrollo del estudio y a la vez investigar los datos para lograr cumplir con el objetivo planteado.

#### **3.2. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística:**

Se realizó la categorización apriorística, en donde se plasmó en categorías y subcategorías para su correcto análisis que contribuye para el desarrollo de la investigación. En el anexo 01, se muestra la matriz de categorización donde se presentó los objetivos planteados.

#### **3.3. Escenario de estudio:**

Esta investigación está conformada por los artículos de bases de datos indexado de acceso libre, los cuales guardan relación con el tema a investigar y se encontró en el entorno académico científico, donde se investigó sobre la evaluación de las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales.

### 3.4. Participantes:

Constituido por artículos pertenecientes a las bases indexadas de acceso libre, que fueron seleccionados usando criterios de inclusión como son: (Tabla N°01).

**Tabla N°01:** Criterio de inclusión para selección de artículos de investigación.

<b>Ítem</b>	<b>Criterio de inclusión</b>
Tipo de artículo	Artículo científico
Tipo de acceso	Acceso Libre
Fecha de publicación	Del 2016 al 2020
Tipo de agua residual	Industriales
Idioma	Español – inglés

Fuente: Elaboración propia.

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos:

Para esta investigación se empleó la técnica del análisis documental a partir de la revisión de artículos científicos que corresponden a fuentes primarias y como instrumento se utilizó la ficha de recolección de datos como lo cual permitió identificar y localizar cualquier documento, así como el contenido, recuperación de documentos y recolección de datos de interés. Como se muestra en la tabla N° 02

**Tabla N°02:** Palabras claves utilizadas para búsqueda en la base de datos

Base de datos	Palabras claves en español	Palabras claves en inglés
Scielo	“Remoción de cromo”	“Techniques” and “chrome removal”
	“Cromo en aguas residuales”	“Techniques” or “chrome removal”
	“Cromo en aguas residuales”	“Chromium in wastewater”
Sciencie Direct	“Remoción en aguas residuales”	“Evaluation and “removal techniques”
	“Técnicas de remoción”	“Techniques” or “chrome removal”
Dialnet	“Cromo en aguas residuales”	“Evaluation” and “removal techniques”
	“Cromo en aguas residuales”	“Chromium in wastewater”
Redalyc	“Técnicas de remoción”	“Techniques” or “chrome removal”

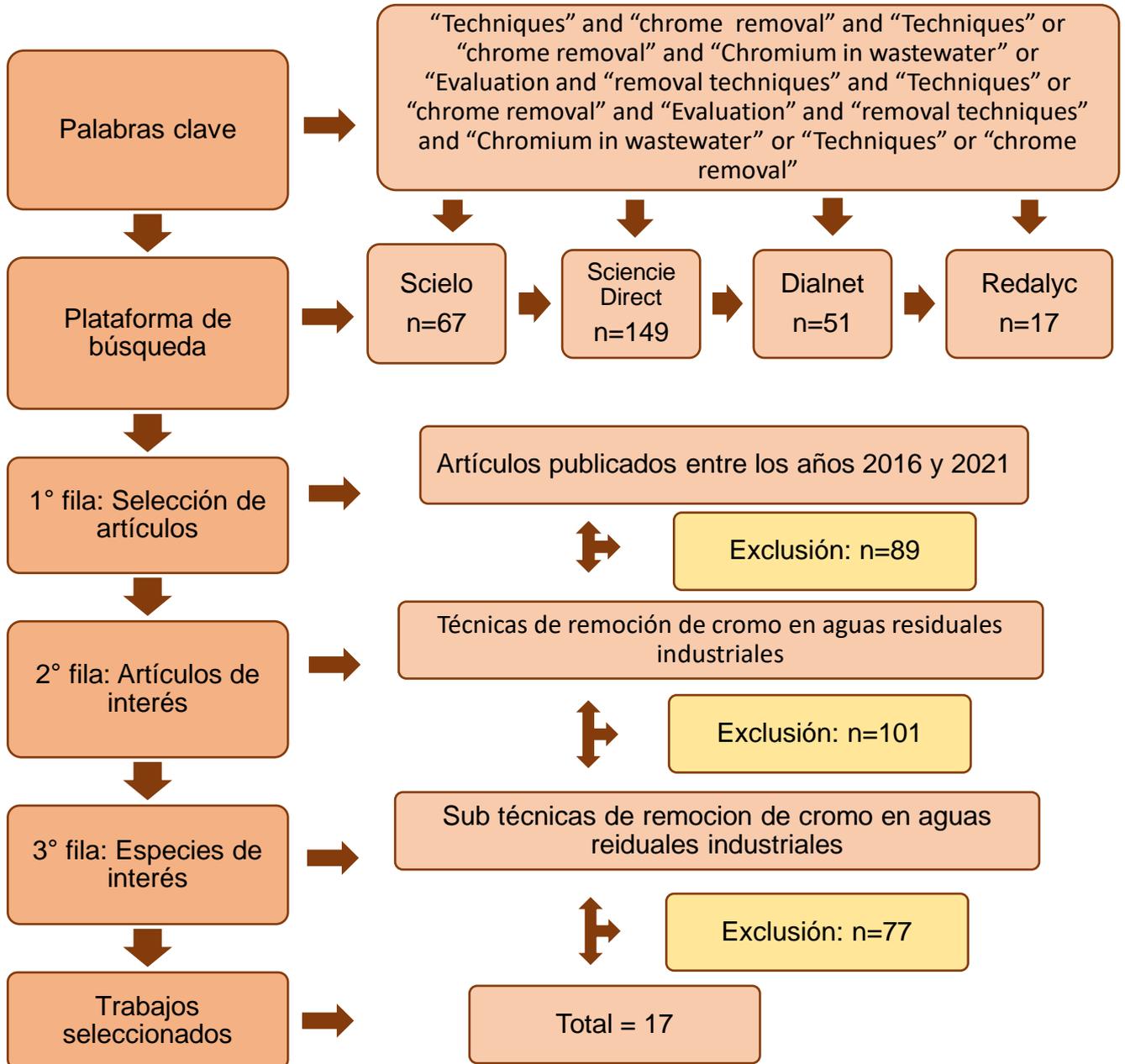
indexadas.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.6. Procedimiento:

El procedimiento para la realización de esta investigación, se llevó a cabo de la siguiente manera.

**Figura N° 01:** Procedimiento de investigación



### **3.7. Rigor científico:**

El estudio estuvo respaldado a través del uso de artículos que pertenecen a la base de datos indexadas las cuales contaron con estándares de calidad científica en cuanto a veracidad, autenticidad lo cual se garantizó que los datos que fueron utilizados en la investigación son válidos, así mismo se declaró que los datos fueron tabulados utilizando una forma esquematizada y estructurada de tal manera que las conclusiones se ajusten de forma objetiva a los resultados que se muestran en los documentos evaluados.

### **3.8. Métodos de análisis de datos:**

En la investigación se utilizó una ficha de recolección de datos como instrumento, teniendo en cuenta el análisis documental como técnica, el método empleado para el análisis de la información se realizó en una hoja de cálculo Microsoft 2019, lo cual permitió seleccionar la información de los artículos que fueron seleccionados previamente.

### **3.9. Aspectos éticos:**

Para la investigación se cumplió con los códigos éticos, los lineamientos, la autenticidad y veracidad garantizado la confiabilidad de los resultados obtenidos, sin hacer alguna alteración de los mismos y respetando los reglamentos, normativas y políticas vigentes estipulados por la Universidad César Vallejo. Se desarrolló respetando los derechos de autoría de los investigadores al momento de obtener y procesar la información recopilados para su correcto desarrollo, también se empleó el uso de citas de acuerdo a la norma ISO 690.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

➤ A continuación, se muestra los artículos que fueron identificados en las bases de datos indexadas a través de palabras claves y que están relacionados a la temática de la investigación, así como se muestra en la tabla N°3.

**Tabla N°3:** Artículos por año publicados en la base de datos indexados

Año	Base de datos	N° artículos
2016	Scielo	2
2017	Scielo	1
2018	Sciencie Direct	1
2019	Dialnet – Scielo – Sciencie Direct	4
2020	Dialnet – Sciencie Direct	4
2021	Dialnet – Sciencie Direct	5
	Total	17

Fuente: Elaboración propia.

✓ **Objetivo General.** En este trabajo de investigación se tomó como objetivo general evaluar las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales que han demostrado mayor efectividad, para cumplir con lo detallado se planteó la siguiente tabla.

**Tabla N° 4:** Descripción de artículos científicos seleccionados.

N°	Año	Título	Tipo de investigación	Técnica de aplicación	Tipo de agua residual	% de remoción de cromo	Procesos
1	2019	Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de <i>Spirulina</i> sp. Sedimentación primaria y precipitación química.	Experimental Puro	Biosorción	Industrial sector metalmeccánico	96.5	Físicos, Químicos y Biológicos
2	2017	Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación.	Experimental Puro	Electrocoagulación	Curtiembre	98	Químico
3	2019	Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembre mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de <i>Yarrowia lipolytica</i> Y <i>Candida fluviatilis</i> ".	Experimental Puro	Biosorción	Curtiembre	97.5	Químicos, Físicos y Biológicos

4	2017	Remoción de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas.	Experimental Puro	Carbón activado	Sintética	Carbón sin activar: 34; Carbón activado: 41	Químico
5	2019	Remoción de cromo en efluentes de curtiembre por consorcio de levaduras del género <i>Saccharomyces</i> y <i>Pichia</i> ".	Experimental Puro	Biosorción	Curtiembre	57 (a una concentración de 50ppm) y 54 (a una concentración de 100ppm)	Físico Químico
6	2021	Análisis de eficiencia de residuos de cáscara de huevo y té como adsorbentes de bajo costo para la eliminación de Cr de la muestra de aguas residuales.	Experimental Puro	Biocarbón	Curtiembre	Cáscara de huevo no calcinada: 70.70 cáscara de huevo calcinada: 100 residuos té biocarbón: 68.2.	Físico
7	2016	<i>Bacillus</i> sp. G3 un microorganismo promisorio en la biorremediación de aguas industriales contaminadas con cromo hexavalente.	Experimental Puro	Biosorción	Industrial	100	Biológico
8	2021	<i>Opuntia ficus-indica</i> es un excelente biosorbente ecológico para la eliminación de cromo en los efluentes de la industria del cuero.	Experimental Puro	Biosorción	Curtiembre	Con 2,0g de biomasa: 74.8 Con 4,0g de biomasa: 84.88.	Físicos, Químicos

<b>9</b>	2018	Eliminación de cromo (VI) de una solución acuosa utilizando basalto vesicular: un posible sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo.	Experimental Puro	Sorbente abiótico	Sintética	79.20	Física, Químico
<b>10</b>	2020	Corteza de eucalipto modificada como absorbente para la eliminación simultánea de DQO, aceite y Cr (III) de las aguas residuales industriales.	Experimental Puro	Carbón activado	Industrial	61	Química
<b>11</b>	2020	Biocarbón de jacinto de agua para la adsorción de cromo trivalente de las aguas residuales de tenerías.	Experimental Puro	Biocarbón	Curtiembre	99	Biológico
<b>12</b>	2019	Eficiencia de la biomasa inmovilizada de Zea mays para la adsorción de cromo de medios simulados y aguas residuales de tenerías.	Experimental Puro	Biosorción	Curtiembre	Cr (III): 64.52 y Cr (VI): 55.98	Físico Químico
<b>13</b>	2020	Rendimiento de adsorción-reducción de residuos de té y biocarros de cáscara de arroz para la eliminación de Cr (VI) de las aguas residuales.	Experimental Puro	Biocarbón	Sintética	99.3 y 96.8	Físico Químico
<b>14</b>	2021	El comportamiento de cristalización y la estabilidad de la cromita sintetizada en aguas residuales que contienen cromo a temperatura ambiente.	Experimental Puro	Sorbente abiótico	Sintética	99	Físico Químico

15	2020	Caracterización del carbón activado soportado en ferrita de cobalto para la eliminación de iones de cromo y plomo de las aguas residuales de las curtidurías mediante el equilibrio de adsorción.	Experimental Puro	Carbón activado	Curtiembre	98.2	Físico Químico y Biológico
16	2016	Un estudio sobre los efectos del pH, la dosis de adsorbente, el tiempo, la concentración inicial y el estudio de isothermas de adsorción para la eliminación de cromo hexavalente (Cr (VI)) de las aguas residuales mediante nanopartículas de magnetita.	No Experimental	Sorbente abiótico	Sintética	72	Físico Químico
17	2020	Modelado matemático y estimulación de parámetros termodinámicos para la eliminación de Cr 6+ de aguas residuales utilizando adsorbente de glutaraldehído reticulado de quitosano.	Experimental Puro	Adsorción	Sintética	73.42	Físico

Fuente: Elaboración propia.

a. **Primer objetivo específico.** Para cumplir con nuestro primer objetivo específico, evaluar las técnicas de remoción de cromo más utilizadas, se realizó la siguiente tabla.

**Tabla N°5:** Técnicas aplicadas en la remoción de cromo en aguas industriales.

N°	Autor	Título	Técnicas	Tipo de agua residual
1	KS Padmavathy, G. Madhu y P.V. Haseena	Un estudio sobre los efectos del pH, la dosis de adsorbente, el tiempo, la concentración inicial y el estudio de isotermas de adsorción para la eliminación de cromo hexavalente (Cr (VI)) de las aguas residuales mediante nanopartículas de magnetita.	Sorbente abiótico	Sintética
2	Alemu, Agegnehu et al.	Eliminación de cromo (VI) de una solución acuosa utilizando basalto vesicular: un posible sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo.	sorbente abiótico	Curtiembre
3	Ordoñez y Benitez	Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembre mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de <i>Yarrowia lipolytica</i> Y <i>Candida fluviatilis</i> ".	Biosorción	Curtiembre
4	Qaisar Manzoor, Qaisar et al.	Eficiencia de la biomasa inmovilizada de <i>Zea mays</i> para la adsorción de cromo de medios simulados y aguas residuales de tenerías.	Biocarbón	Curtiembre

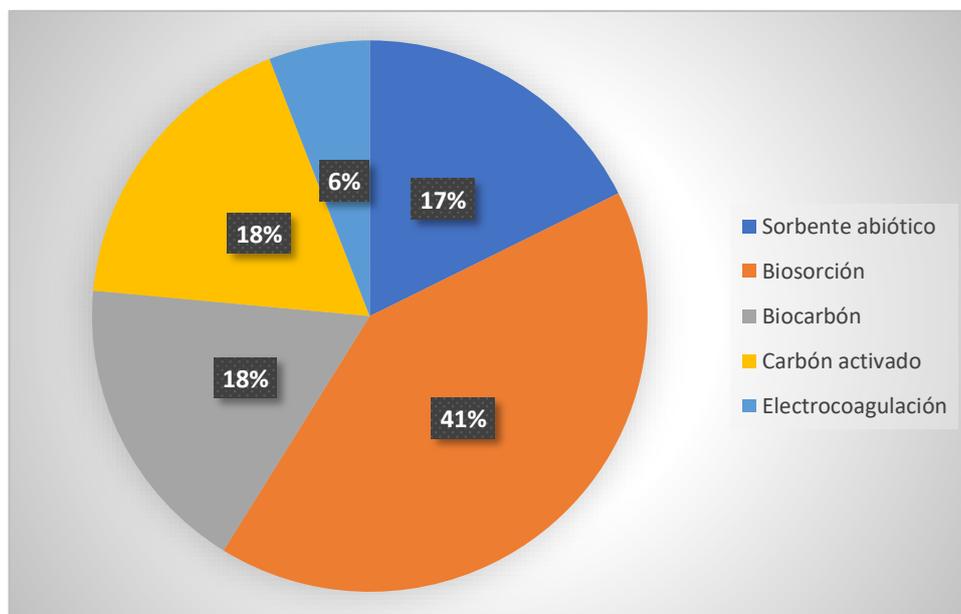
5	Martini, Sharmeen y Kiagus	Corteza de eucalipto modificada como absorbente para la eliminación simultánea de DQO, aceite y Cr (III) de las aguas residuales industriales.	Carbón activado	Curtiembre
6	Purbita, Saha et al.	Análisis de eficiencia de residuos de cáscara de huevo y té como adsorbentes de bajo costo para la eliminación de Cr de la muestra de aguas residuales.	Biosorción	Curtiembre
7	Atangana y Oberholster	Modelado matemático y estimulación de parámetros termodinámicos para la eliminación de Cr 6+ de aguas residuales utilizando adsorbente de glutaraldehído reticulado de quitosano.	Biosorción	Sintética
8	Andreza, Juliana et al.	Opuntia ficus-indica es un excelente biosorbente ecológico para la eliminación de cromo en los efluentes de la industria del cuero.	Biosorción	Sintética
9	Lv, Jin-fang et al.	El comportamiento de cristalización y la estabilidad de la cromita sintetizada en aguas residuales que contienen cromo a temperatura ambiente.	Sorbente abiótico	Curtiembre
10	De la Torre Osto, Juan et al.	Remoción de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas	Carbón activado	Sintética
11	Diekola, Muibat et al.	Caracterización del carbón activado soportado en ferrita de cobalto para la eliminación de iones de cromo y plomo de las aguas residuales de las curtidorías mediante el equilibrio de adsorción.	Carbón activado	Curtiembre

12	Hashem, Md Abul et al.	Biocarbón de jacinto de agua para la adsorción de cromo trivalente de las aguas residuales de tenerías.	Biocarbón	Curtiembre
13	Khalil, Usman Et al	Rendimiento de adsorción-reducción de residuos de té y biocarros de cáscara de arroz para la eliminación de Cr (VI) de las aguas residuales.	Biocarbón	Sintética
14	Meneses, Yeni , Patiño, Paula y Betancur Jhon	Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de <i>Spirulina</i> sp. Sedimentación primaria y precipitación química.	Biosorción	Industrial empresa del sector metalmecánico
15	Mayta, Roddy y Mayta Jhony	Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación.	Electrocoagulación	Curtiembre
16	Rodríguez y Quezada	Remoción de cromo en efluentes de curtiembre por consorcio de levaduras del género <i>Saccharomyces</i> y <i>Pichia</i> ”	Biosorción	Curtiembre
17	Alexander Mora Collazos	<i>Bacillus</i> sp. G3 un microorganismo promisorio en la biorremediación de aguas industriales contaminadas con cromo hexavalente	Biosorción	Curtiembre

Fuente: Elaboración propia.

Para mayor identificación de estas técnicas realizamos la siguiente figura extraída de la tabla N° 5

**Figura N°2:** Técnicas de remoción de cromo más utilizadas



Fuente: Elaboración propia.

Tras la revisión de los artículos seleccionados para esta investigación se pudo constatar varias técnicas aplicadas para el proceso de remoción de cromo de aguas industriales. De las técnicas aplicadas, las más utilizadas fueron la técnica de biosorción la cual se registra en un 41% en la figura 2 utilizada por siete autores (Ordoñez y Benitez, 2019; Purbita, Saha et al., 2021; Atangana y Oberholster, 2020; Andreza et al., 2021; Meneses, Yeni, Patiño, Paula y Betancur, 2019; Rodríguez y Quezada, 2019; Mora, 2016), otras técnicas que registran un alto porcentaje son las descritas por tres autores Manzoor, Qaisar et al. (2019), Hashem, Md Abul et al. (2020), Khalil, Usman Et al. (2020) con la técnica de biocarbón con 18% y las descritas por Martini, Sharmeen y Kiagus (2020), De la Torre Osto, Juan et al. (2017) y Diekola, Muibat et al. (2020) con la técnica de Carbón activado con un porcentaje de 18%, y los menos utilizados encontrados fue la técnica de Sorbentes abióticos con 17% y el de electrocoagulación con un porcentaje de 6%.

La técnica de biosorción hace uso de diferentes tipos de microorganismos, plantas entre otros, de forma directa con un tratamiento previo más sencillo y con la dosis adecuada (Cuizano, Llanos y Navarro, 2019) a diferencia de las técnicas de carbón activado, biocarbón y electrocoagulación que son necesarias un tratamiento previo más complejo, además de requerir un alto consumo de energía ya sea térmica o eléctrica, como lo describen los autores de las revistas científicas investigadas, estas dos cualidades descritas hacen que la técnica de biosorción sea más preferida en el tratamiento de remoción de Cromo, similar a lo que menciona (Tamay 2019) en su investigación quien también además de las cualidades mencionadas tiene una mínima utilización de productos químicos, siendo también amigable para el medio ambiente. Además, se observó en la Figura N° 2 que la técnica de biosorción se usa en los tres tipos de aguas residuales identificadas (de curtiembres, sintéticas y metalmecánica) siendo otra de las razones de su preferencia para la remoción de Cromo. Por otro lado, el uso de carbón activado fue juntamente con el de biocarbón el segundo más usado, según De la Torre, et al. (2017) la técnica de carbón activado hace que el material absorbente tenga una mejor estructura de sus poros, siendo uno de las razones por la cual de su preferencia en la remoción de Cromo.

**b. Segundo objetivo específico.** Para cumplir con nuestro segundo objetivo específico, evaluar los tipos de procesos que emplean las técnicas de remoción en aguas residuales industriales, se realizó la siguiente tabla.

**Tabla N°:6** Tipos de procesos en la remoción de cromo

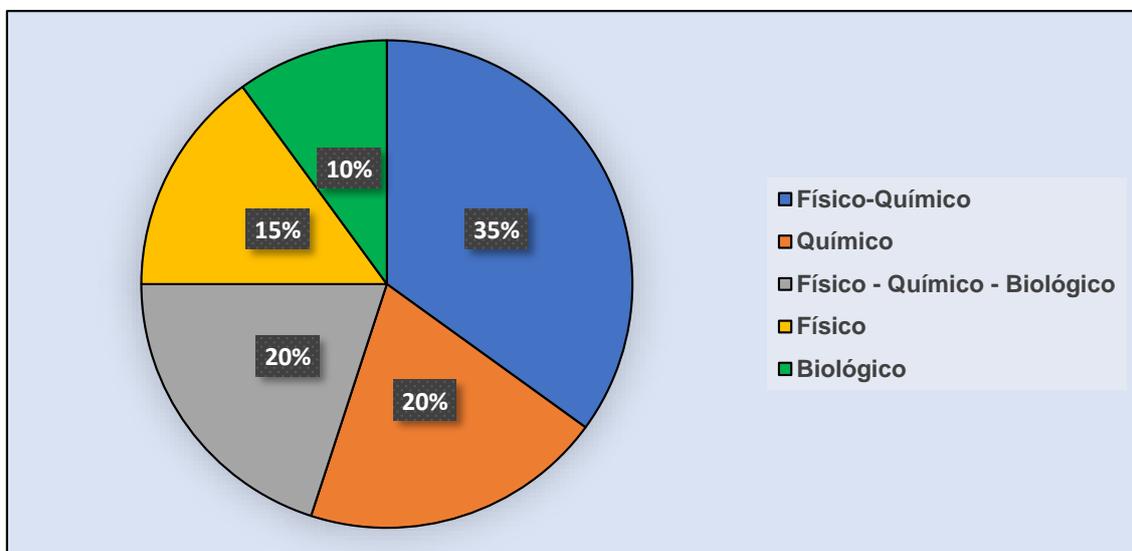
N°	Título	Tipo de procesos	Técnica de aplicación	Tipo de agua residual
1	Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de <i>Spirulina</i> sp. Sedimentación primaria y precipitación química.	Físicos, Químicos y Biológicos	Biosorción	Industrial sector metalmecánico
2	Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación.	Químico	Electrocoagulación	Curtiembre
3	Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembre mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de <i>Yarrowia lipolytica</i> Y <i>Candida fluvialilis</i> ".	Químicos, Físicos y Biológicos	Biosorción	Curtiembre
4	Remoción de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas.	Químico	Carbón activado	Sintética
5	Remoción de cromo en efluentes de curtiembre por consorcio de levaduras del género <i>Saccharomyces</i> y <i>Pichia</i> ".	Físico Químico	Biosorción	Curtiembre
6	Análisis de eficiencia de residuos de cáscara de huevo y té como adsorbentes de bajo costo para la eliminación de Cr de la muestra de aguas residuales.	Físico	Biocarbón	Curtiembre
7	<i>Bacillus</i> sp. G3 un microorganismo promisorio en la biorremediación de aguas industriales contaminadas con cromo hexavalente.	Biológico	Biosorción	Curtiembre

<b>8</b>	Opuntia ficus-indica es un excelente biosorbente ecológico para la eliminación de cromo en los efluentes de la industria del cuero.	Físicos, Químicos	Biosorción	Curtiembre
<b>9</b>	Eliminación de cromo (VI) de una solución acuosa utilizando basalto vesicular: un posible sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo.	Física, Químico	Sorbente abiótico	Sintética
<b>10</b>	Corteza de eucalipto modificada como absorbente para la eliminación simultánea de DQO, aceite y Cr (III) de las aguas residuales industriales.	Química	Carbón activado	Curtiembre
<b>11</b>	Biocarbón de jacinto de agua para la adsorción de cromo trivalente de las aguas residuales de tenerías.	Biológico	Biocarbón	Curtiembre
<b>12</b>	Eficiencia de la biomasa inmovilizada de Zea mays para la adsorción de cromo de medios simulados y aguas residuales de tenerías.	Físico Química	Biosorción	Curtiembre
<b>13</b>	Rendimiento de adsorción-reducción de residuos de té y biocarros de cáscara de arroz para la eliminación de Cr (VI) de las aguas residuales.	Físico Químico	Biocarbón	Sintética
<b>14</b>	El comportamiento de cristalización y la estabilidad de la cromita sintetizada en aguas residuales que contienen cromo a temperatura ambiente.	Físico Químico	Sorbente abiótico	Sintética
<b>15</b>	Caracterización del carbón activado soportado en ferrita de cobalto para la eliminación de iones de cromo y plomo de las aguas residuales de las curtidurías mediante el equilibrio de adsorción.	Físico Químico y Biológico	Carbón activado	Curtiembre
<b>16</b>	Un estudio sobre los efectos del pH, la dosis de adsorbente, el tiempo, la concentración inicial y el estudio de isoterms de adsorción para la eliminación de cromo hexavalente (Cr (VI)) de las aguas residuales mediante nanopartículas de magnetita.	Físico Químico	Sorbente abiótico	Sintética
<b>17</b>	Modelado matemático y estimulación de parámetros termodinámicos para la eliminación de Cr 6+ de aguas residuales utilizando adsorbente de glutaraldehído reticulado de quitosano.	Físico	Adsorción	Sintética

Fuente: Elaboración propia.

Por lo cual dentro del análisis respectivo pudimos observar los tipos de procesos que tenían las técnicas en los artículos seleccionados y así poder evaluarlo según el tratamiento aplicado. Los tipos de procesos obtenidos se puede ver representados en la siguiente figura.

**Figura N°: 3** Procesos en la remoción de cromo



Fuente: Elaboración propia.

Se observan en la figura N°3 cuyos datos reportan que los procesos donde se realiza la remoción de cromo son de tipo biológico en un 10%, de tipo físico en un 15%, de tipo químico en un 20%, de tipo físico – químico - biológico reporta un 20% y de tipo físico - químico 35%, dicho porcentaje suele ser el más elevado en esta actividad. Describiéndose entonces que las mejores condiciones para la remoción del cromo son los procesos de tipo físico – químico, probablemente por la naturaleza de la remoción y de la técnica con la que se realiza la remoción.

Hay estudios acerca de los procesos de remoción de cromo los cuales son empleados para reducir los metales pesados (cromo), (Meneses, Patiño y Betancur 2019, p. 141) nos dicen que los procesos físicos, químicos y biológicos en aguas residuales industriales son para determinar cuál sería la alternativa resulta más sostenible para que el agua industrial sea tratada correctamente. (Ordoñez y Benítez, 2019, p. 946), lo que ellos se refieren que los procesos pueden ser realizados por el proceso físico y químico para poder intercambiar

iones, osmosis inversa, ultrafiltración y precipitaciones químicas. Por otro lado, esta tecnología es empleada muy poca debido a sus generados de subproductos de contaminantes, su costo es muy elevado para su operación y mantenimiento y poca efectividad. (Lv. Jin-fang 2021, p.3) nos dice que el proceso químico como la adición selectiva de determinadas soluciones se puede permitir que las sustancias contaminantes disueltas en los efluentes se puedan separar más fácilmente por otro lado tiene un alto costo de aplicación a gran escala, por lo tanto, es necesario el desarrollo de un método sostenible y rentable para limpiar las aguas residuales industriales contaminadas con cromo. (Rahimi Mostafa et al. 2021, p.1) En el proceso físico se separan componentes contaminantes no disueltos en el agua sin alterar, al menos este es el concepto comúnmente aceptado en la tecnología de tratamiento en las aguas residuales industriales, es un proceso excelente para eliminar metales pesados debido a sus desventajas, como el bajo costo y la alta capacidad de remover cromo. (Atangana, Ernestine y Oberholster, Paul J. 2020, p. 1932).

c. **Tercer objetivo específico.** Para cumplir con nuestro tercer objetivo específico, evaluar la mejor condición de remoción según las técnicas encontradas para la remoción en aguas residuales industriales, se realizó la siguiente tabla.

**Tabla N° 7:** Mejores condiciones de remoción según las técnicas encontradas en la base de datos indexadas para remover cromo.

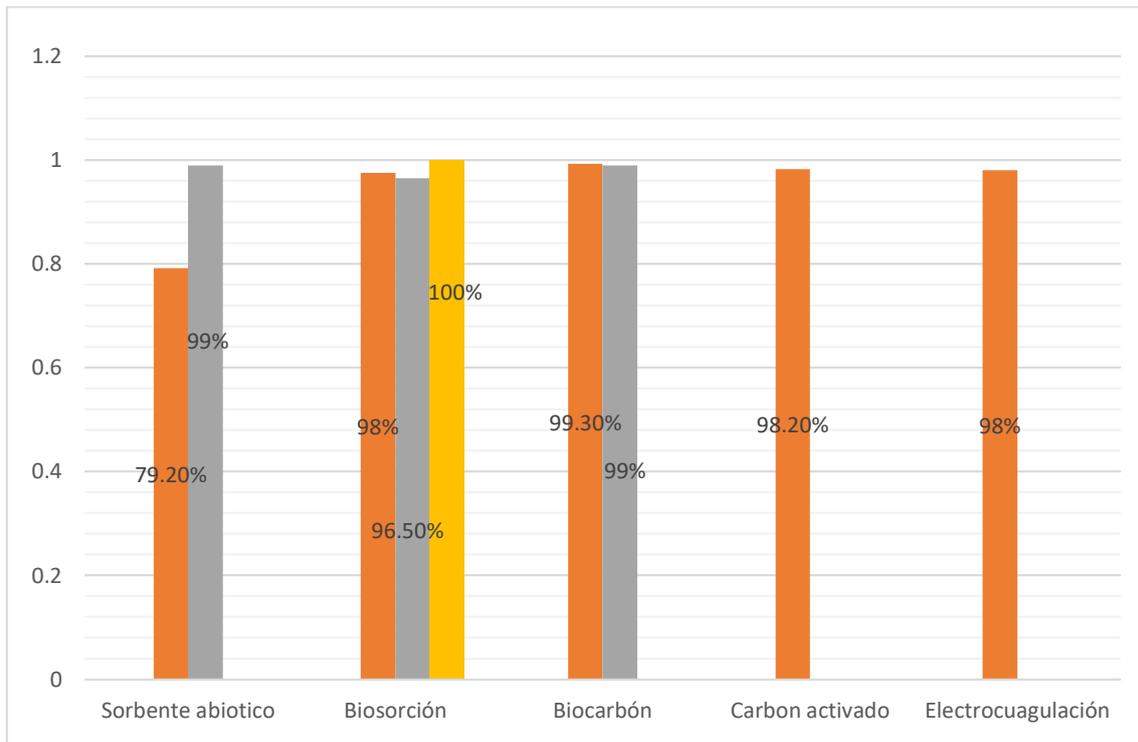
N°	Autor	Título	Técnicas	Tipo de agua residual	% remoción de cromo
1	KS Padmavathy, G. Madhu y P.V. Haseena	Un estudio sobre los efectos del pH, la dosis de adsorbente, el tiempo, la concentración inicial y el estudio de isotermas de adsorción para la eliminación de cromo hexavalente (Cr (VI)) de las aguas residuales mediante nanopartículas de magnetita.	Sorbente abiótico	Sintética	72
2	Alemu, Agegnehu et al.	Eliminación de cromo (VI) de una solución acuosa utilizando basalto vesicular: un posible sistema de tratamiento de aguas residuales de bajo costo.	sorbente abiótico	Curtiembre	79.2
3	Ordoñez y Benitez	Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembre mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de <i>Yarrowia lipolytica</i> Y <i>Candida fluvialilis</i> ".	Biosorción	Curtiembre	97.5
4	Qaisar Manzoor, Qaisar et al.	Eficiencia de la biomasa inmovilizada de <i>Zea mays</i> para la adsorción de cromo de medios simulados y aguas residuales de tenerías.	Biocarbón	Curtiembre	Cr(III): 64.52 y Cr(VI): 55.98
5	Martini, Sharmeen y Kiagus	Corteza de eucalipto modificada como adsorbente para la eliminación simultánea de DQO, aceite y Cr (III) de las aguas residuales industriales.	Carbón activado	Curtiembre	61
		Análisis de eficiencia de residuos de			Cáscara de huevo no

6	Purbita, Saha et al.	Análisis de eficiencia de residuos de cáscara de huevo y té como adsorbentes de bajo costo para la eliminación de Cr de la muestra de aguas residuales.	Biosorción	Curtiembre	Cáscara de huevo no calcinada: 70.70, cáscara de huevo calcinada 100 residuos té biocarbón: 68.2
7	Atangana y Oberholster	Modelado matemático y estimulación de parámetros termodinámicos para la eliminación de Cr 6+ de aguas residuales utilizando adsorbente de glutaraldehído reticulado de quitosano.	Biosorción	Sintética	73.42
8	Andreza, Juliana et al.	Opuntia ficus-indica es un excelente biosorbente ecológico para la eliminación de cromo en los efluentes de la industria del cuero.	Biosorción	Sintética	Con 2,0g de bioamasa: 74.8 Con 4,0g de biomasa: 84.88
9	Lv, Jin-fang et al.	El comportamiento de cristalización y la estabilidad de la cromita sintetizada en aguas residuales que contienen cromo a temperatura ambiente.	Sorbente abiótico	Curtiembre	99
10	De la Torre Osto, Juan et al.	Remoción de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas	Carbón activado	Sintética	Carbón sin activar: 34; Carbón activado: 41
11	Diekola, Muibat et al.	Caracterización del carbón activado soportado en ferrita de cobalto para la eliminación de iones de cromo y plomo de las aguas residuales de las curtidorías mediante el equilibrio de adsorción.	Carbón activado	Curtiembre	98.2
12	Hashem, Md Abul et al.	Biocarbón de jacinto de agua para la adsorción de cromo trivalente de las aguas residuales de tenerías.	Biocarbón	Curtiembre	99

13	Khalil, Usman Et al	Rendimiento de adsorción-reducción de residuos de té y biocarros de cáscara de arroz para la eliminación de Cr (VI) de las aguas residuales.	Biocarbón	Sintética	99.3 y 96.8
14	Meneses, Yeni , Patiño, Paula y Betancur Jhon	Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de <i>Spirulina</i> sp. Sedimentación primaria y precipitación química.	Biosorción	Industrial empresa del sector metalmecánico	96.5
15	Mayta, Roddy y Mayta Jhony	Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación.	Electrocoagulación	Curtiembre	98
16	Rodríguez y Quezada	Remoción de cromo en efluentes de curtiembre por consorcio de levaduras del género <i>Saccharomyces</i> y <i>Pichia</i> ”	Biosorción	Curtiembre	57 (a una concentración de 50ppm) y 54 (a una concentración de 100ppm)
17	Alexander Mora Collazos	<i>Bacillus</i> sp. G3 un microorganismo promisorio en la biorremediación de aguas industriales contaminadas con cromo hexavalente	Biosorción	Curtiembre	100

Fuente: Elaboración propia

**Figura N° 4: Mejores condiciones de remoción según las técnicas encontradas Fuente: Elaboración propia.**



**Fuente: Elaboración propia.**

En la tabla N° 7, así como en la figura N° 4 se observa las mejor condición para la remoción de cromo, según (Mora, 2017) es la de biosorción donde se obtuvo un porcentaje de remoción del 100%, al cabo de una duración de 10 horas en medio LB y 34 horas en el agua residual, donde se utilizó microorganismos (*Bacillus* sp. G3) con la finalidad de evaluar su potencial en la reducción de cromo, indicando que la mayor remoción se produce con valores óptimos de temperatura de 28°C y 6.5 de pH, usando una muestra de agua residual de una empresa de curtiembre.

(Usman, Khalil [et al.], 2020). Ha utilizado la técnica de biocarbón., se obtuvo una remoción de 99.3%, aquí el autor realizó una comparación entre un biocarbón hecho de residuos de té y cáscaras de arroz, resultando que a un pH 5.2, logró eliminar un máximo de 99.3% de, en cambio con el residuo de cáscaras de arroz se logró remover 96.8%, lo cual indico que ambos representan una opción viable para remover el cromo presente en aguas residuales de curtiembre

## CONCLUSIONES:

- La técnica de remoción de cromo en agua residuales más utilizada es la de biosorción con un porcentaje de 41% de referencias y la de menor uso corresponde a la técnica de electrocoagulación con un porcentaje del 6%, debido a que presenta ventajas como un fácil pretratamiento, aplicable a diferentes tipos de aguas residuales y menos consumo energético.
- Los tipos de procesos que predominan en las técnicas de remoción de Cr en aguas residuales industriales, son fisicoquímicos, fisico-quimico-biológico, químico, físico y biológico los cuales fueron reportados en un 35, 20, 20, 15 y 10% respectivamente.
- Las mejores condiciones de remoción de cromo en aguas residuales industriales, requieren un tiempo de residencia alrededor de 10 horas en medio LB y de 34 horas directamente en agua residual industrial, el uso de la cepa *Bacillus* sp. G3 a una temperatura de 28°C, con un pH de 6.5 y usando la técnica de bioadsorción.
- Las técnicas más eficientes de remoción de cromo en aguas residuales industriales reportadas corresponden a la biosorción, biocarbón, sorbente abiótico, carbón activado y la electrocoagulación, cuyos valores de remoción alcanzan valores alrededor del 99.9%, 99.3%, 98.2% y 98% respectivamente.

## RECOMENDACIONES:

- Evaluar el porcentaje de rendimiento en la remoción de Cromo de la investigación seleccionada (Mora, 2017) que utiliza *Bacillus* sp. G3 con otros tipos de aguas residuales, con el fin de describir su efecto en los mismos y conocer su mejor rendimiento. Además, es necesario conocer a fondo el medio y las condiciones físicas necesarias donde este microorganismo tiene un mejor efecto en la remoción del Cromo.
- Investigar sobre la acción de remoción propuesta por (Mora 2017) con *Bacillus* sp. G3 con las diferentes formas de Cromo existentes, con el fin de clarificar el potencial de biosorción de forma diferenciada, para una mejor toma de decisiones en los procesos de tratamiento de Cromo a escala industrial.
- Investigar la rentabilidad económica y los efectos ambientales de cada técnica descrita en esta investigación, cuando dicha técnica sea aplicada a escala industrial. Esto contribuirá a una mejor toma de decisiones de parte de las entidades en el tratamiento de aguas residuales que contengan cromo, ya que no solo estará basado en la eficacia si también en la eficiencia de remoción.
- Se sugiere investigar propuestas de edificaciones de plantas de tratamientos de aguas residuales con contenido de Cromo que se hayan adecuado al uso de microorganismos en parte de sus procesos, de esta manera conocer la viabilidad a escala industrial de las técnicas de biosorción descritas en esta investigación.

## REFERENCIAS:

1. AGUILAR, Edwar, MARRUFO, Liliana y NEYRA, Walter. "Reduction of total chromium levels from raw tannery wastewater via electrocoagulation using response Surface methodology". Journal of Ecological Engineering. [En línea]. Diciembre 2019, vol. 20, N° 11. [Fecha de consulta: 30 de septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.jeeng.net/Reduction-of-Total-Chromium-Levels-from-Raw-Tannery-Wastewater-via-Electrocoagulation,113191,0,2.html>.
2. AHMED, Zia [et al.]. Efficiency análisis of eggshell and tea waste as low-cost adsorbents for Cr removal from waswater sample. South African Journal of Chemical Engineering [En línea]. Vol. 37, julio 2021. [Fecha de consulta:]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918521000342>  
ISSN: 10269185
3. ALEMU, Agegnehu [et al.]. Removel of chromium (VI) from aqueous solution using vesicular basalt: A potential low-cost wastewater treatment system. Heliyon [en línea]. Vol. 4, N° 7, julio 2018. [Fecha de consulta: 20 de octubre de 2020].  
Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844017339130>  
ISSN: 24058440
4. ALVAREZ, Pedro. Ética e investigación. Revista boletín REDIPE [en línea]. Vol. 7, N° 2, febrero 2018. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://revista.redipe.org/index.php/1/article/view/434/430>  
ISSN: 2266-1536
5. ANALISÍS de datos [En línea]. ECONOMIPEDIA por Guillermo Westreicher (14 de agosto 2020). [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://economipedia.com/definiciones/analisis-de-datos.html>

6. ANDREZA, Juliana. Opuntia ficus-indica is an excellent ecological biosorbent for the removal of chromium in effluents from the leather industry. Heliyon, volume 7, Issue 6, June 2021. [Fecha de consulta: 15 de julio del 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021013955>
7. ARNAU, Laura y SALA, Josefina. La revisión de la literatura científica: Pautas, procedimientos y criterios de calidad. Guías y recursos para investigar en educación [en línea]. Universidad Autónoma de Barcelona, 23 de abril de 2020 [Fecha de consulta: 19 de noviembre de 2020]. Disponible en: [https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2020/222109/revliltcie\\_a2020.pdf](https://ddd.uab.cat/pub/recdoc/2020/222109/revliltcie_a2020.pdf)
8. ARTUNDUAGA, Oscar. Tratamientos para la remoción de cromo (VI) presente en aguas residuales. La Plata Huella. Colombia. [en línea]. vol. 1, n| 1, diciembre 2015. Fecha de consulta: 30 de septiembre del 2020]. Disponible en: <http://revistas.sena.edu.co/index.php/rnova/article/view/187/220>
9. ATANGANA, Ernestine y OBERHOLSTER, Paul. Mathematical modeling and stimulation of thermodynamic parameters for the removal for Cr<sup>6+</sup> from wastewater using chitosan cross-linked glutaraldehyde adsorbente. Alexandria Engineering Journal [en línea]. Vol. 59, N° 4, agosto 2020. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S111001681930153X>  
ISSN: 11100168
10. BALTA, Rafael. El carbón activado y el biocarbón en la asimilación de cadmio por el tomate (Solanum lycopersicum L.) bajo el invernadero. Tesis para optar el grado de Maestro Magister Scientiae en suelos. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 2019. [Fecha de consulta: 15 de julio del 2021]. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/3874/balta-crisologo-rafael-ananias.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

11. BELTRAN, Devora y CAPRISTÁN, Cinthia. Técnicas de fitorremediación en el tratamiento de la DBO5 y DQO en aguas residuales municipales e industriales. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería, 2020.

Disponible en:

[http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49044/Beltran\\_MDA-Caprist%C3%A1n\\_TCM-SD.pdf?sequence=1](http://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/49044/Beltran_MDA-Caprist%C3%A1n_TCM-SD.pdf?sequence=1)

12. CAÍS, Jordi, FOLGUERA, Laia, FORMOSO, Climent. Investigación cualitativa longitudinal [en línea]. Madrid: Centro de Investigaciones Sociológicas, Inc., 2015 [Fecha de consulta: 1 de diciembre de 2020]. Disponible en: <https://libreria.cis.es/libros/investigacion-cualitativa-longitudinal/9788474766523/>

ISBN: 9788474766523

13. CHÁVARRY, María y VALDERRAMA, Ivan. Sistema de tratamiento de agua residual con “Lemna minor” para la absorción de Cromo en la etapa de curtido. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Trujillo: Universidad César Vallejo, Facultad de ingeniería, 2020. Disponible en: [https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46882/Ch%c3%a1varry\\_YMI-Valderrama\\_UIA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.ucv.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12692/46882/Ch%c3%a1varry_YMI-Valderrama_UIA-SD.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

14. CASTILLO, Lourdes. Análisis documental. Biblioteconomía [en línea]. 2015, [Fecha de consulta: 1 de diciembre 2020]. Disponible en: <https://www.uv.es/macass/T5.pdf>

15. CASTRO, Amy. Recolección de datos: Fichas. Facultad de Ciencias Médicas U.S.A.C [en línea]. Febrero de 2015, [Fecha de consulta: 21 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://melpe025.files.wordpress.com/2015/03/lasfichas-amycastro14215.pdf>

16. DEIKOLA, Muibat [et al.]. Characterization of cobalt ferrite-supported activated carbon for removal of chromium and lead ions from tannery wastewater via adsorption equilibrium. Water Science and Engineering [en

- línea]. Vol. 13, N° 3, septiembre 2020. [Fecha de consulta:15 de noviembre de 2020]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1674237020300740>  
ISSN: 16742370
17. DE la TORRE, Jhon [et al.]. Remoción de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación de microondas. Revista Industrial Data [en línea]. Vol. 20, N° 2, mayo 2017. [Fecha de consulta: 20 de noviembre del 2020]. Disponible en:  
<https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/13947>  
ISSN: 18109993
18. DUARTE R. Edinson, OLIVER, Jesús y JARAMILLO, Breatri E. Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosano obteniendo de desechos de camarón. Revista Cientica Redalyc. [en línea]. N°42, vol.15, agosto 2016. Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2020]. Disponible en:  
<https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=84916714054>  
ISSN: 0122-1701
19. El peruano (Perú) Normas legales. Vivienda, construcción y saneamiento- Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario: Firmado por Editora Perú: 2019. 17 pp. Disponibles en:  
<https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-el-reglamento-de-valores-maximos-decreto-supremo-n-010-2019-vivienda-1748339-3/>
20. El peruano (Perú) Produce, Aprueban Límites Máximos Permisibles y Valores Referenciales para las actividades industriales de cemento, cerveza, curtiembre y papel: Firmado por Editora Perú: 2002. 230921 pp. Disponible en: <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-valores-referenciales-las>

21. HASHEM, M. Abul [et al.]. Water hyacinth for trivalent chromium adsorption from tannery wastewater. *Environmental and Sustainability Indicators* [en línea]. Vol. 5, febrero 2020. [Fecha de consulta: 25 de octubre de 2020]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2665972720300040>  
ISSN: 26659727
22. HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Pilar. Metodología de la investigación [en línea]. 2016. [Fecha de consulta: 1 de diciembre de 2020]. Disponible en:  
[https://issuu.com/upaep\\_online/docs/dise\\_\\_os\\_no\\_experimentales\\_\\_sa\\_m\\_pier](https://issuu.com/upaep_online/docs/dise__os_no_experimentales__sa_m_pier)
23. JIN-FANG, Lv [et al.]. The crystallization behavior and stability of chromite synthesized in Chromium-containing at room temperature. *Engineering* [en línea]. Vol. 7, 2021. [Fecha de consulta: 15 de abril de 2021]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095809921000552>  
ISSN: 17359244
24. KHALIL, Usman [et al.]. Adsorption-reduction performance of tea waste and rice husk biochars for Cr (VI) elimination from wastewater. *Journal of Saudi Chemical Society* [En línea]. Vol. 24, N° 11, noviembre 2020. [Fecha de consulta: 3 de diciembre de 2020]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S131961032030082X>  
ISSN: 13196103
25. La contaminación del agua con cromo [Mensaje en un blog]. Madrid: López, María, (22 de enero de 2016). [Fecha de consulta: 25 de setiembre del 2020]. Recuperado en:  
<https://www.aguasresiduales.info/revista/blog/contaminacion-del-agua-con-cromo>
26. MANZOOR, Qaisar [et al.]. Efficiency of immobilized Zea mays biomasa for the adsorption of chromium from simulated media and tannery wastewater. *Journal of Materials Research and Technology* [En línea]. Vol. 8, N° 1, enero-marzo 2019. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785416302460>

ISSN: 22387854

27. MARTINI, Sri y AFROZE, Shermeen. Modified eucalyptus bark as a sorbent for simultaneous removal of COD, oil and Cr (III) from industrial wastewater. Alexandria Engineering Journal [en línea]. Vol. 59, N° 3, junio 2020. [Fecha de consulta: 25 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110016820301563>  
ISSN: 11100168

28. MAYTA, Roddy y MAYTA, Jhony. Remoción de cromo y demanda química de oxígeno de aguas residuales de curtiembre por electrocoagulación. Revista de la Sociedad química del Perú. [en línea]. vol. 83, n° 3. Junio-julio 2017. [Fecha de consulta: 28 de septiembre del 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lang=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000300008&lang=es)

ISSN: 1810-634

29. MENESES, Yeni, PATIÑO, Paula y BETANCUR, Jhon. Remoción de cromo en aguas residuales industriales mediante el uso de biomasa de Spirulina sp. Sedimentación primaria y precipitación química. Revista de investigación Agraria y Ambiental. [en línea]. vol., N° 1. junio 2019. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6756090>

30. MOHAMMED, Kemal y OMPRAHASH, Sahu. Recovery of chromium from tannery industry waste water by membrane separation technology: Health and engineering aspects. Scientific African [en línea]. Vol. 4, julio 2019. [Fecha de consulta: 22 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227618300085>  
ISSN: 24862276

31. MORA, Alexander. Bacillus sp. G3 un microorganismo promisorio en la biorremediación de aguas industriales contaminadas con cromo hexavalente. Nova Scientia [en línea]. Vol. 8, N° 17, 2016. [Fecha de consulta: 18 de octubre de 2020]. Disponible en:

[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-07052016000200361&lang=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-07052016000200361&lang=es)

ISSN: 20070705

32. OLIVEIRA, Ana Paula [et al.]. Opuntia Ficus-indica is an excellent eco-friendly biosorbent for the removal of chromium in leather industry effluents. *Heliyon* [en línea]. Vol. 7, N° 6, junio 2021. [Fecha de consulta: 20 de mayo de 2021]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844021013955>

ISSN:24058440

33. ORDOÑEZ, Didier y BENITEZ, Neyla. Remoción de cromo trivalente en aguas residuales de curtiembre mediante un proceso biótico-abiótico basado en el uso de *Yarrowia Lypolytica* y *Candida fluviatilis*. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Vol. 35, N° 4, 2019. [Fecha de consulta: 15 de noviembre de 2020]. Disponible en:

<https://www.revistascca.unam.mx/rica/index.php/rica/article/view/RICA.2019.35.04.13/46910>

ISSN: 01884999

34. PADMAVATHY K. S. [et al.]. A study on effects of pH, adsorbent dosage, time, initial concentration and adsorption isotherm study for the removal of hexavalent chromium (Cr (VI)) from wastewater by magnetite nanoparticles. *Procedia Technology* [en línea]. Vol. 24, 2016. [Fecha de consulta: 22 de octubre de 2020]. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221201731630216X>

ISSN: 22120173

35. PRIETO Hernández, Ana. Tipos de investigación. Publicado en blogger. Universidad abierta y a distancia de México. [en línea]. 1 de agosto, 2017, p. 2 [Fecha de consulta: 25 octubre de 2020]. Disponible en: <https://jose-mario-balderas-reyes-unadm.blogspot.com/2017/08/tipos-de-investigacion.html>

36. RAHIMI, Mostafa [et al.]. Recyclable methodology over bimetallic zero-valent Mg's composition for hexavalent chromium remediation via batch and flow systems in industrial wastewater: an experimental design.

Journal of Materials Research and Technology [En línea]. Vol. 11, marzo-abril 2021. [Fecha de consulta: 10 de mayo de 2021]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2238785420321669>  
ISSN: 22387854

37. *REMOCIÓN de cromo total en agua, usando carbón mineral activado con radiación mineral* por Juan de la Torre Ostos [et al]. Industrial Data. [En línea]. Julio-diciembre 2017, vol. 20, n°2. [Fecha de consulta: 30 de septiembre 2020]. Disponible en: <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/idata/article/view/13947/12311>  
ISSN: 1810-9993

38. RIVERA, Guillermo. El análisis Documental y el Estudio de los Procesos de Influencia Global/Local en Políticas Públicas: Una propuesta metodológica. Revista Psicoperspectivas Individuo y Sociedad [en línea]., Vol. 16, N° 3, 20 de agosto 2017. [Fecha de consulta: 19 de noviembre 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/321088422\\_El\\_Analisis\\_Documental\\_y\\_el\\_Estudio\\_de\\_los\\_Procesos\\_de\\_Influencia\\_GlobalLocal\\_en\\_Politicas\\_Publicas\\_Una\\_propuesta\\_metodologica](https://www.researchgate.net/publication/321088422_El_Analisis_Documental_y_el_Estudio_de_los_Procesos_de_Influencia_GlobalLocal_en_Politicas_Publicas_Una_propuesta_metodologica)  
ISSN: 0717-7798

39. RODRÍGUEZ, Magda y QUEZADA, Medardo. Remoción de cromo en efluentes de curtiembre por consorcio de levaduras del género *Saccharomyces* y *Pichia*. Revista UCV-SCIENTIA [En línea]. Julio 2019, n°11. [Fecha de consulta: 30 de septiembre 2020]. Disponible en: <http://revistas.ucv.edu.pe/index.php/UCV-SCIENTIA/article/view/2587/2111>

40. SAHA, Purbita, et al. Efficiency analysis of eggshell and tea residues as low-cost adsorbents for the removal of Cr from the wastewater sample. South African Journal of Chemical Engineering, volume 37, July 2021.

[Fecha de consulta: 15 de julio del 2021]. Disponible en:  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1026918521000342>

41. SEVILLA, Romero, SÁNCHEZ, S y SILVA, Benavente. Aplicación de quitosano modificado en el tratamiento de aguas residuales de tenerías. Revista científica. [en línea]. Vol. 31, nº. 2, diciembre 2018. [Fecha de consulta: 18 de septiembre del 2020]. Disponible en:  
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7216480>

ISSN: 1995-9516

42. SOTO Rueda, LANDÁZURI, Patricia y LOANGO, Nelsy. Remoción de cromo hexavalente de aguas residuales con microorganismos adaptados a medios ricos de cromo. Colombia: Revista de la asociación colombiana sobre ciencias biológicas. [en línea]. vol.29, N° 1. octubre 2017. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en:  
[https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/94110/CONICET\\_Digital\\_Nro.906bdd24-3df7-4ae6-b823-](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/94110/CONICET_Digital_Nro.906bdd24-3df7-4ae6-b823-740edeade84_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

[740edeade84\\_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/94110/CONICET_Digital_Nro.906bdd24-3df7-4ae6-b823-740edeade84_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y)

ISSN: 2500-7454

43. TEJADA, Candelaria, VILLADONA, Ángel y GARCÍA, Luz. Absorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. Revista Scielo [en línea]. vol. 18, N° 34. junio 2016. [Fecha de consulta: 17 de septiembre de 2020]. Disponible en:  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010&lang=es)

[77992015000100010&lang=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010&lang=es)

44. TERÁN, Augusto. “*Cómo hacer la categorización de la información en una investigación*”. [En línea]. 03 de enero 2020. [Fecha de consulta: 03 de octubre 2020]. Disponible en: <https://online-tesis.com/como-hacer-la-categorizacion-de-la-informacion-en-una-investigacion/>

45. Tesis, Asesoría y Capacitación, 2020. ¿Qué es una ficha de RECOLECCIÓN de Datos para tu TESIS? En: *YouTube* [vídeo en Línea].

- Publicado el 27 de octubre de 2020. [Fecha de consulta: 20 de noviembre de 2020]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=Q6oUaUqXfdA>
46. VIADES, Josefina. Físicoquímica de Alimentos. México: UNAM. 2013 [Fecha de consulta: 15 de julio del 2021]. Disponible en: [http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Fenomenossuperficiales.Adsorcion\\_23226.pdf](http://depa.fquim.unam.mx/amyd/archivero/Unidad3.Fenomenossuperficiales.Adsorcion_23226.pdf)
47. VILLENA, Jorge. Calidad del agua y desarrollo sostenible. Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública [en línea]. abril - junio 2018, vol. 35, N° 2. [Fecha de consulta: 25 de septiembre de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1726-46342018000200019&lang=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1726-46342018000200019&lang=es)  
ISSN: 2213-3437
48. VOIJANT, Beiby, BERLIANTO, Malik y KARTIKA, Anak. "Deconcentration of Chromium Contained in Wastewater using a bacteria and microalgae consortia with a High-Rate Algal Reactor System" [En línea]. vol.21, n°8. Noviembre 2020. [Fecha de consulta: 30 de septiembre 2020]. Disponible en: <http://www.jeeng.net/Deconcentration-of-Chromium-Contained-in-Wastewater-Using-a-Bacteria-and-Microalgae,126878,0,2.html>
49. TAMAY, Andrea. Determinación de la capacidad de Biosorción y desorción de la corona de piña (*Ananas comosus*) para la remoción de metales pesados. Cuenca: Universidad Politécnica Salesiana, 2019. [Fecha de consulta: 15 de julio del 2021]. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17182/1/UPS-CT008215.pdf>
50. CUIZANO, Norma, LLANOS, Bertha y NAVARRO, Abel. Aplicaciones Ambientales de la Adsorción mediante biopolímeros naturales: Parte 1- Compuestos fenólicos. Rev Soc Quím Perú. 75 (4), 2019. [Fecha de consulta: 15 de julio del 2021]. Disponible en: <http://www.scielo.org.pe/pdf/rsqp/v75n4/a12v75n4.pdf>

### Anexo 01: Matriz de Categorización Apriorística

AMBITO TEMÁTICO+B3:H29	PROBLEMA DE INVESTIGACION	PREGUNTAS ESPECÍFICAS	OBJETIVO GENERAL	OBJETIVOS ESPECIFICOS	CATEGORIAS	SUBCATEGORIAS	
Evaluación de técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales	¿Cuáles son las técnicas de remoción de cromo aplicadas a las aguas residuales industriales que demostraron mayor efectividad?	¿Que técnicas son mas eficientes para la remocion de cromo en las aguas residuales industriales?	Evaluar las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales que han demostrado mayor efectividad.	Evaluar las técnicas de remoción de cromo más utilizadas en la base de datos indexadas,	Tecnicas de remocion de cromo	Bioremediación	
		¿Cual es la condicion necesaria para la remoción de cromo en las aguas residuales industriales?		Evaluar los tipos de procesos que emplean las técnicas de remoción de cromo en aguas residuales industriales.		Tipos de procesos	Electrocoagulación
							Carbón activado
							Biocarbón
		Biosorción					
		¿Cuáles son las técnicas que presenta mayor remoción de cromo en las aguas residuales industriales?			Evaluar la mejor condición de remoción según las técnicas encontradas		% de remocion de cromo total
		Industrial empresa del sector metalmeccánico		Químico			
				Físico			
						Físico-Químico-Biológico	
						Biológico	
						Agua residual de Curtiembre	
						Agua residual Sintético	

Fuente: Elaboración propia