



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Evaluación del uso de bacterias para el tratamiento de metales
pesados en aguas residuales**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniera Ambiental**

AUTORA:

Aguilar Haro, Katerine Patricia (orcid.org/0000-0003-4714-6923)

ASESOR:

Dr. Cruz Monzón, José Alfredo (orcid.org/0000-0001-9146-7615)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y gestión de los recursos naturales

LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:

Desarrollo sostenible y adaptación al cambio climático

TRUJILLO – PERÚ

2022

DEDICATORIA

A Dios, quien supo guiarme por el buen camino, dame las fuerzas para continuar en este proceso de obtener uno de los anhelos más deseados.

A mis padres, quienes por ellos soy lo que soy, por inculcarme valores y principios desde pequeña, por su apoyo, comprensión, paciencia y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar, me han dado todo lo que soy como persona, mi empeño, mi perseverancia, mi coraje para cumplir mis metas.

A mi amada hija Cielo por ser mi fuente de motivación e inspiración para poder superarme cada día más y así poder luchar para que la vida nos depara un futuro mejor.

A mi pareja, esa persona que estuvo apoyándome en cada decisión, que siempre estuvo conmigo a lo largo de esta etapa y nunca dejó darme ánimos para seguir adelante.

AGRADECIMIENTO

En primera instancia, agradecer a Dios sobre todas las cosas, sobre todo de mantener una buena salud tanto nuestra persona como del entorno; por permitir llevar a cabo esta investigación con el fin de fortalecer nuevos conocimientos como profesional y ser el complemento para culminar nuestra carrera profesional con éxito. Además de agradecer a nuestros familiares, por la confianza que me brindaron pese a las fallas que tuvo en todo este tiempo de estudio.

Y un agradecimiento especial al Dr. José Alfredo Cruz Monzón por brindarnos su tiempo, orientación y paciencia, además de enseñarnos a no rendirnos y seguir siempre para adelante.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	vi
Resumen.....	vii
Abstract.....	viii
I. INTRODUCCIÓN	9
II. MARCO TEÓRICO	12
III. METODOLOGÍA	18
3.1. Tipo y diseño de investigación	18
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	18
3.3. Escenario de estudio.....	18
3.4. Participantes	18
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	19
3.6. Procedimiento	20
3.7. Rigor científico	21
3.8. Método de análisis de datos.....	21
3.9. Aspectos éticos	21
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
V. CONCLUSIONES	455
VI. RECOMENDACIONES	46

REFERENCIAS

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N°01: Criterio de Inclusión con respecto a los artículos encontrados.....	19
Tabla N°02: Ficha de registro de palabras clave.....	19
Tabla N° 03: Remoción de metales pesados por tipo de bacteria (Aeróbica)	23
Tabla N°04: Remoción de metales pesados por tipo de bacteria (Facultativa)	26
Tabla N°5: Condiciones utilizadas por tipo de bacteria	29
Tabla N°6: Tipo de agua residual de curtiembre para la remoción de metales pesados.....	34
Tabla N°7: Tipo de agua residual de galvanoplastia para la remoción de metales pesado.....	36
Tabla N°8: Tipo de agua residual industrial para la remoción de metales pesados..	39
Tabla N°9: Tipo de agua residual municipal para la remoción de metales pesados.	42

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N°01: Procedimiento de Investigación	20
Figura N°02: Artículos científicos reportados por año de la investigación de acceso libre.....	22
Figura N°03: Eficiencia en la remoción de metales pesados por bacterias Aeróbica.	24
Figura N°04: Eficiencia en la remoción de metales pesados por bacterias Facultativas.....	27
Figura N°05: Eficiencia de bacterias en aguas residuales de curtiembre	34
Figura N°6: Eficiencia de bacterias en aguas residuales de galvanoplastia.	37
Figura N°7: Eficiencia de bacterias en aguas residuales Industriales.....	40
Figura N°8: Eficiencia de bacterias en aguas residuales municipales	433

RESUMEN

Actualmente se conocen diversas técnicas biológicas que se aplican a los cuerpos de agua contaminados, algunas posiblemente con mayores ventajas que otras. Es por ello que se propuso evaluar la eficiencia del uso de bacterias para el tratamiento de metales pesados presentes en aguas residuales. La investigación fue de tipo básica, descriptiva, longitudinal y de diseño no experimental y corresponde a una revisión sistemática sin meta-análisis. Se utilizaron 17 artículos que fueron recuperados en la base de datos Ebsco, ProQuest, Pubmed, ScieceDirect y Redalcy a través de las palabras clave y criterios de aceptación previamente establecidos. Los resultados muestran que las bacterias más utilizadas son de tipo aeróbicas con una alta eficiencia en la remoción de Cr, Hg, Ni y Pb en diferentes tipos de agua industrial, alcanzando valores de remoción 100%, 100% 100% y 83% para los metales de Cr, Hg, Ni y Pb. Se concluye que las bacterias más eficientes para la remoción de metales pesados de Cr, Ni y Pb en aguas residuales son las especies *Bacillus cereus* y *Pseudomonas sp.*

Palabras clave: Tratamiento biológico, bacterias, metales pesados, remoción, aguas residuales.

ABSTRACT

Various biological techniques are currently known to be applied to contaminated water bodies, some possibly with greater advantages than others. That is why the efficiency of the use of bacteria for the treatment of heavy metals present in wastewater will be evaluated. The research was basic, descriptive, longitudinal and non-experimental in design and corresponds to a systematic review without meta-analysis. 17 articles were used that were retrieved from the Ebsco, ProQuest, Pubmed, SciencieDirect and Redalcy databases through the previously established keywords and acceptance criteria. The results show that the most used bacteria are of the aerobic type with a high efficiency in the removal of Cr, Hg, Ni and Pb in different types of industrial water, reaching removal values of 100%, 100%, 100% and 83% for the Cr, Hg, Ni and Pb metals. It is concluded that the most efficient bacteria for the removal of heavy metals from Cr, Ni and Pb in wastewater are the species *Bacillus cereus* and *Pseudomonas* sp.

Keywords: Biological treatment, bacteria, heavy metals, removal, wastewater.

I. INTRODUCCIÓN

A nivel mundial más del 80% de aguas residuales se descargan en ríos o al océano sin ningún tipo de tratamiento (De Anda, 2017, p. 121). El escenario es aún más alarmante en los países más pobres que solo tratan el 8% de aguas residuales domésticas e industriales (UNESCO, 2017 p.02). El aumento por las actividades antrópicas ha dado lugar a la liberación cada vez mayor de diversos contaminantes poniendo en peligro los ecosistemas frágiles, los metales pesados son unos de los contaminantes que contribuyen al creciente problema de la contaminación ambiental, y se introducen principalmente en hábitats y nichos ecológicos a través de aguas residuales y aguas residuales de distintas industrias, es por ello que con el pasar de los años se han desarrollado técnicas de tratamiento para reducir las concentraciones de metales pesados en aguas residuales, se han estudiado esencialmente muchos métodos físicos y químicos, pero debido a deficiencias como la generación de desechos químicos, tratamiento posterior y costo antieconómico de ambos métodos lo ha vuelto ineficientes (Bradiyad et al., 2021, p.1), el utilizar productos químicos en el tratamiento de metales pesados donde en elevadas dosis de coagulantes generan una gran cantidad de lodos (Armador et al., 2015, p. 2). Así mismo es importante reconocer que el uso de bacterias puede constituir como una alternativa prometedora para el tratamiento de aguas residuales contaminadas, su éxito radica en la selección de un buen candidato bacteriano, así como de una metodología eficiente para su desarrollo en el proceso de remoción (Manisha y Vinod, 2021, p. 37). El tratamiento biológico que utiliza microorganismos como bacterias es un proceso muy delicado, debido a que si no se encuentran en condiciones adecuadas la degradación microbiana no es posible, de acuerdo con Garzón, Rodríguez y Hernández (2018) en su investigación cuando el tricloroetileno se encuentra en condiciones anaeróbicas, padece una serie de reacciones por microorganismos, en el que elimina átomos de cloro formando cloruro de vinilo, el cual es un subproducto cancerígeno (p. 315). Por otra parte, según Li y Tao (2015) menciona que uno de los tratamientos biológicos más eficientes es aquello que utilizan como biomasa las bacterias, especialmente cuando se aplican en concentraciones bajas de metales pesados,

son viablemente económicas y ecoamigables con el medio ambiente (p.1), a su vez estos microorganismos poseen tres mecanismos que pueden influir en la toxicidad y el transporte de metales pesados, tales como la biotransformación, bioacumulación y biosorción (p.2).

Se ha descubierto que la biomasa bacteriana, ya sea en forma original o modificada, tienen la capacidad de unirse a iones metálicos en fase acuosa y pueden emplearse como biosorbentes para eliminar metales pesados, en esencia, las paredes celulares de las bacterias son mediadores quelantes de metales pesados, debido a que poseen capas de limo de polisacáridos con algunos grupos funcionales como amina, carboxilo, fosfato, sulfato e hidroxilo que sirven para la unión de metales pesados. (Arvind et al., 2021, p. 6). Las bacterias grampositivas cargadas tienen mayor afinidad por la captación de metales debido a la presencia de más glicoproteínas en comparación con las bacterias gramnegativas con la presencia de más fosfolípidos y lipopolisacáridos en sus paredes celulares (Wai et al., 2021, p. 5). Particularmente las bacterias son adsorbentes eficientes y rentables para la remoción de metales pesados, existe una gran variedad de cepas bacterianas con la capacidad de biosorción como: *Bacillus cereus* sp. en Cr(VI) (Zhao et al., 2016, p.128); *Cellulosimicrobium* sp. en Cr(VI) (Bharagava y Mishra, 2018, p. 103); *Pseudomonas aeruginosa* sp. en Ni, Cr, Cd (Abdelbary et al., 2019, p.5); *Bacillus cereus*, *Acinetobacter* sp. y *Micrococcus* sp. en Zn y Cd (Pérez et al., 2021, p.91); *Bacillus* sp en Fe y Ni (Sharma et al., 2021, p.1); *Streptomyces rimosus* en Pb y Fe (Sahmoune, 2018, p. 88) entre otros. No obstante, varios factores influyen y limitan la eficacia de la biorremediación con bacterias como la temperatura, el pH, el potencial redox, el estado nutricional, la humedad y la composición química de los metales pesados, el uso de bacterias por sí solo ha mostrado una eficacia limitada debido a varios factores, incluida la escasa competitividad (Igiri et al., 2018, p. 1), a la vez también atraviesan obstáculos como los niveles excesivos de metales pesados, siendo incapaces de convertir metales pesados tóxicos en su forma no tóxicas, provocando efectos inhibidores en la actividad bacteriana (Samakshi y Arindam, 2019, p. 12). Posteriormente, se han implementado mejoras con la ayuda de bacterias genéticamente modificadas siendo eficaces en la adaptabilidad y

aplicación en cada una de las condiciones desfavorables y sitios contaminados con metales pesados (p. 22). Por lo que se refiere, también se aplican tratamientos combinados para reforzar su eficiencia, como el mecanismo simbiótico de utilizar plantas combinadas con bacterias (rizorremediación) a fin de potenciar la remoción de contaminantes, este es un mecanismo positivo para ambos organismos implicados; por una parte, las plantas proporcionan nutrientes a las bacterias para su desarrollo y las bacterias ayudan al crecimiento de la raíz aumentando la capacidad de acumulación de metales pesados (Beltrán y Gómez., 2016, p. 179).

Por lo anteriormente expuesto, la investigación planteó la siguiente pregunta: ¿Cuál es el nivel de eficiencia que presenta el uso de bacterias en el tratamiento de metales pesados en aguas residuales según la evidencia en la base de datos?

En tal sentido, la presente investigación tiene una justificación teórica debido que el estudio sistemático contribuye a ampliar el conocimiento acerca del tema estudiado, con esto se busca beneficiar a las personas y al medio ambiente, ya que se vienen destruyendo ecosistemas debido a la presencia de metales pesados en fuentes hídricas, desde un enfoque económico, muestra a las industrias la mejor forma de tratar sus aguas contaminadas con un método económico, factible y eficiente, los aportes prácticos de esta investigación sirven como una información actualizada para otras investigaciones.

La investigación tuvo como objetivo principal: Evaluar la eficiencia del uso de bacterias para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales, como objetivos específicos: Evaluar la eficiencia en la remoción de metales pesados en aguas residuales según el tipo de bacteria utilizada, evaluar las mejores condiciones de remoción de metales pesados en aguas residuales usando bacterias y evaluar la efectividad de remoción de metales pesados usando bacterias según el tipo de agua residual.

II. MARCO TEÓRICO

Para el desarrollo de este estudio se consideró trabajos previos, por lo que se presentan los siguientes antecedentes:

Según Wang et al. (2018) investigó la remediación de mercurio mediante una versátil bacteria reductora de selenito, tuvo como objetivo evaluar la eficiencia y los mecanismos de remediación de Hg(II) por la bacteria *Escherichia coli* a una concentración inicial de 0.04ppm de Hg(II). Los resultados obtenidos demostraron que la bacteria *E. coli* del total de Hg(II) removido, el 3.3 % fue adsorbido por la bacteria, el 2.0 % fue bioacumulado y el 7.3 % fue volatilizado en el ambiente, la mayoría en un 80.6 % de Hg fue removido como precipitados de HgSe y HgCl y Hg⁰. Se concluyó que la bacteria *Escherichia coli* tuvo una capacidad de adsorción del 93,2 % de Hg (II), siendo un candidato prometedor para la biorremediación de mercurio de aguas residuales contaminadas.

Según Devanesan y Alsalhi (2021) estudió la eliminación de Cd (II) y Zn(II) usando la bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* en aguas residuales industriales, identificó la bioacumulación de Cd (II) y Zn (II) en función del proceso de biosorción por *Bacillus amyloliquefaciens*, la bacteria se seleccionó del lodo del suelo municipal, se inoculó la muestra en 1,0 ml en medio de caldo nutritivo que contenía 500 ppm de CdCl₂ y ZnCl₂ durante 72 horas a 30 °C, este estudio mostró una máxima resistencia en Cd(II) de 2575 ppm y Zn (II) de 1300 ppm. Se obtuvieron como resultados que la máxima biosorción de Cd (II) fue de un 98,4 % a una concentración de 100 ppm, así mismo la máxima biosorción de Zn (II) fue de un 98,3 % a una concentración de 150 ppm de iones metálicos. Se concluyó que la bacteria *Bacillus amyloliquefaciens* tiene un gran potencial de remover Cd (II) y Zn (II) en aguas residuales.

Por otro lado Sher, Hussain y Rehman (2020) evaluaron los múltiples mecanismos de resistencia de la bacteria *Staphylococcus sp* bajo concentraciones de arsenito en aguas residuales, tuvo como objetivo la identificación y aislamiento de bacterias resistentes a metales pesados de los residuos industriales y caracterizar la interacción bacteria-metal mediante análisis instrumental, las bacterias se suplementaron en acetato de medio

salino mínimo, se colocaron en una incubadora con agitación a 37°C con 100 rpm durante 48 horas, luego se determinó el crecimiento óptimo a 37 ° C y pH 7, los resultados demuestran que la bacteria *Staphylococcus sp.* pudo oxidar el arsenito aun 91% en 8 horas y eliminar el 93% en 10 horas a través de su biomasa inactivada del medio. Se concluyó que la cepa *Staphylococcus sp* tiene un gran potencial, debido a su resistencia a los hipermetales y su alta capacidad de oxidación del arsenito, para ser utilizada como una fuente biológica para la química verde para eliminar el arsenito tóxico del medio ambiente.

Para Elahi et al. (2019) en su artículo evaluaron la remoción de Cr (VI) usando la bacteria *M. testaceum* en efluentes de curtiembre, se determinó el potencial de biorremediación de Cr (VI) de la bacteria *M. testaceum* de aguas residuales de curtiembre, en este estudio se añadieron por separado 0 a 100 ml de caldo medio de sales minerales y se suplementaron con cultivo por 24 horas, luego se incubaron en condiciones de agitación de 150 rpm a 37 ° C en un agitador rotatorio durante 7 días, así mismo crecimiento se determinó tomando la absorbancia a 600 nm. Se determinó el crecimiento óptimo a 37°C y pH 7. Como resultados del análisis, reveló que el potencial máximo de procesamiento de metales de la bacteria *M. testaceum* se alcanzó después de 6 días, donde elimino el 66% de Cr(VI) del medio, además, el experimento a escala piloto también replica los resultados, ya que la eliminación máxima de Cr(VI) fue de un 96% del efluente real de la curtiembre, este resultado se obtuvo después de 6 días de incubación. En conclusión, la tolerancia múltiple a metales pesados y el alto potencial de reducción de cromo hexavalente de la cepa bacteriana *M. testaceum* sería un candidato de elección para recuperar ambientes contaminados con Cr (VI).

Según Huang et al. (2020) estudiaron la remoción del Zn (II) usando la bacteria *Stenotrophomonas maltophilia* en aguas residuales de ganado y aves de corral, tuvo como objetivo detectar cepas con fuerte tolerancia, capacidad de adsorción y resistencia ambiental, en laboratorio el medio se sometió bajo condiciones de valor de pH 5, la concentración inicial de zinc (II) fue de 100 ppm, la cantidad de bacterias fue de 6 g/l, a una temperatura fue de 25-30 °C y el tiempo de equilibrio de eliminación fue de 60 min. Se tuvo como resultados

que la bacteria *Stenotrophomonas maltophilia* puede reducir la concentración de zinc (II) de las aguas residuales complejas de ganado y aves de corral por debajo del estándar de descarga, la tasa de eliminación más alta alcanzó el 88,6% y la cantidad de eliminación más alta alcanzó los 10,30 ppm. Se concluyó que la aplicación de la cepa puede ser de gran importancia para el tratamiento microbiano de zinc (II) en aguas residuales complejas de ganado y aves de corral los resultados proporcionarán una guía para la remediación microbiana de la contaminación por metales pesados.

Según Haque et al. (2021) investigaron la biosorción de cobre, níquel y plomo por diferentes cepas bacterianas en aguas residuales, tuvo como objetivo desarrollar biopelículas de sólido-aire-líquido a un pH 8 a las bacterias *E. asburiae*, *E. ludwigii* y *B. thuringiensis*, mientras que *E. asburiae* y *Vitreoscilla sp.*, desarrollo biopelículas de sólido-aire-líquido a un pH 4. Los resultados mostraron que la biosorción de metales fue drásticamente reducido a 37 °C, sólo las bacterias *Vitreoscilla sp.* y *B. thuringiensis* eliminó completamente el 100% Cu y Ni, mientras que todas estas bacterias eliminaron totalmente el 100% Pb, la eliminación de Cu fue de un 92,5 a 97,8% y Pb de un 89,3 a 98,3%, la mayor remoción de un 84,7 a 93,9% para Ni. Se concluyó que estas cepas bacterianas podrían utilizarse para eliminar Cu, Ni y Pb del medio acuático.

Para Mervat et al. (2017) estudió la biosorción de metales pesados a partir de una solución acuosa por *Drechslera hawaiiensis* endofítica de *Morus alba L.*, tuvo como objetivo evaluar la capacidad de las células muertas de *Drechslera hawaiiensis* de *Morus alba L.* cultivadas en hábitats de metales pesados para la biorremediación de cadmio, cobre y plomo en solución acuosa en diferentes condiciones, el bioadsorbente fue analizado mediante análisis de espectroscopia infrarroja con transformador de Fourier para identificar los diferentes grupos funcionales que contribuyen al proceso de sorción. Como resultados de la *Drechslera hawaiiensis* tuvo una remoción máxima de Cd, Cu y Pb igual a 100%, 100% y 99.6% respectivamente con una capacidad de absorción estimada en 0.28, 2.33 y 9.63 mg/g respectivamente de aguas residuales industriales. Se concluyó que la biomasa de *D. hawaiiensis* puede

usarse potencialmente como bioadsorbente para eliminar Cd, Cu y Pb en soluciones acuosas.

Para Wahid, et al. (2020) investigaron la biosorción de arsenito por microbios en una solución acuosa, tuvo como objetivo determinar la eficacia de la biomasa mixta seca de tres cepas *Bacillus thuringiensis*, *Pseudomonas stutzeri* cepa y *Micrococcus yunnanensis* cepa en la remoción de arsenito As(III) y arseniato As(V) en diferentes condiciones. Se evaluaron las condiciones óptimas de la remoción de arsénico como el tiempo de contacto de 8 y 6 horas, así como también la concentración de 7,5 ppm para arsenito y arseniato respectivamente, a 37 °C, pH 7 y 0.6 mg/ml en dosis. Se concluye que la biomasa seca mixta se recomienda encarecidamente para el tratamiento biológico del arsénico tóxico del medio ambiente.

Por consiguiente, para la presente investigación consideró estudiar y conocer, los siguientes términos: las aguas residuales son aguas contaminadas que han sido modificadas por acción antrópica, debido a la presencia de metales pesados, coliformes termotolerantes y fecales, pesticidas, fármacos, bacterias, virus, etc. Por lo que se requiere un método previo antes de ser arrojadas al medio ambiente, las aguas residuales se clasifican en aguas domésticas, municipales e industriales, de acuerdo a la normativa en los ECA del estado peruano” (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental, 2014, p. 42).

Los metales pesados pueden ser peligrosos para el ser humano (por ingestión o exposición) incluso en concentraciones bajas, se consideran en pequeñas cantidades cobre, zinc, níquel, nutrientes para el crecimiento humano mientras que el cadmio, arsénico, plomo y cromo son cancerígenos, la acumulación de metales pesados más allá de los LMP afecta a los órganos vitales, provocando trastornos hepáticos, renales, venosos, digestivos, pulmonares, cardiovasculares, esqueléticos, retraso mental, neurológico y cáncer (Mohammad et al., 2020, p.496).

a continuación, se describen los metales pesados más relevantes para esta investigación:

El cromo (III) y (VI) es utiliza de manera anticorrosiva, resistente al calor en la galvanoplastia, se encuentra en distintas formas en el ambiente como cromo (III) no toxico y cromo (VI) es una forma cancerígena del cromo metálico, principalmente se encuentran en industrias textiles, eléctricos, entre otros (Covarrubias y Peña, 2017, p. 10).

Plomo (Pb) es un metal mayormente utilizado por las industrias, sin embargo, puede causar efectos nocivos para la salud, tienden acumularse en diferentes tejidos, órganos y huesos por ingestión o inhalación a través de la piel, se encuentran presentes en la fundición de metales, producción de pinturas, industria electrónica, baterías e incineración de residuos, entre otros (Reyes et al., 2016, p.68).

Mercurio (Hg) es un metal altamente tóxico, se encuentra en el ambiente como mercurio metálico, orgánico e inorgánico, en su forma orgánica de metilmercurio es neurotóxico, los peces y mariscos acumulan el metilmercurio siendo consumidos por los humanos causando severos daños a la salud. Se encuentran presentes en industria metalúrgica, cosmética, odontológica, en instrumentos, termómetros y barómetros, entre otros (Bravo y Quispe, 2018). Níquel (Ni) causa efectos sobre la salud humana especialmente en el sistema respiratorio causando asma, fibrosis y cáncer respiratorio, la exposición de este metal se debe principalmente en procesos de operaciones metalúrgicas como por ejemplo en la fabricación de acero inoxidable, producción de alecciones de níquel y operaciones metalúrgicas en polvo (González, 2016, p.32).

Las bacterias son microorganismos de gran interés, debido a que desarrollan procesos metabólicos en el momento de ser utilizados para contrarrestar los niveles de contaminación, la actividad metabólica que producen estos microorganismos causa diferentes microambientes adecuados a su necesidad, como factores ambientales a los cuales son expuestos, el nivel de oxígeno, intensidad de luz, exposición de rayos UV, estrés osmótico, etc. Haciendo que estos microorganismos actúen de manera eficiente, en el intercambio de nutrientes, gases y metabolitos facilitando el crecimiento, producción y ciclos biogeoquímicos, en beneficio de la sostenibilidad de un ambiente saludable (Corrales, et al., 2015, p.56). En este estudio el tipo de bacteria se clasificó de

acuerdo a su necesidad de oxígeno, a continuación, se clasifican de la siguiente manera: Las bacterias aeróbicas son aquellas que necesitan oxígeno para desarrollarse como por ejemplo las bacterias quimioautotróficas que oxidan compuestos de amonio, como fuente de energía para degradar su propia materia orgánica (p.55), así mismo las bacterias anaeróbicas son aquellas que no necesitan oxígeno para desarrollarse, desencadenando etapas sucesivas para la degradación de materia orgánica, como fuente de energías utilizan el alcohol y ácidos mediante vías fermentativas las cuales sirven como aceptores finales de electrones (p.57) y por ultimo las bacterias facultativas o también nombradas anaeróbicas facultativas que son aquellas que se desarrollan en presencia o ausencia del oxígeno como por ejemplo las especies *Escherichia coli*, *Streptococcus pneumoniae*, *Salmonella*, etc (André et al., 2021,p.3).

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación según su propósito fue básica o teórica, se basó en recopilar y analizar artículos de investigación científica, de acuerdo a su nivel de profundidad es descriptiva, según la naturaleza de sus datos es cualitativa y según su medio de obtención de datos es documental de tipo revisión sistemática.

La investigación se desarrolló aplicando un diseño no experimental puesto que no se hizo manipulación de variables, tuvo como propósito brindar información sobre estudios previos mediante la recopilación de datos nacionales e internacionales para la evaluación de artículos relacionados con el tema en estudio, así como los resultados que hacen posible la investigación.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

En la investigación se consideraron las categorías (tipo de bacteria, condiciones físicas y químicas y tipo de agua residual) y subcategorías (bacterias aeróbicas, bacterias anaeróbicas; pH, temperatura, tiempo, velocidad de agitación; agua residual industrial, municipal, curtiembre y de galvanoplastia) que se utilizan de acuerdo con las preguntas de investigación y objetivos específicos lo cual corresponde a la matriz de categorización. (Ver anexo 01)

3.3. Escenario de estudio

El escenario de estudio estuvo conformado por las siguientes bases de datos, como: Pubmed, Sciencedirect, Ebsco, ProQuest y Redalcy.

3.4. Participantes

El estudio tuvo como participantes a los artículos científicos obtenidos de las bases de datos indexadas y de acceso libre, utilizando criterios de inclusión, en los términos más resaltantes como:

Tabla N°01: Criterio de Inclusión con respecto a los artículos encontrados.

Ítem	Criterios de inclusión
Tipo de artículo	Artículo científico
Tipo de acceso	Acceso libre
Fecha de Publicación	Del 2016 al 2022
Idioma	Español-Ingles

Fuente: Elaboración propia

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el estudio se utilizó la técnica de análisis documental ya que se basó en la identificación y recopilación de la información más relevante con fines de interés, mediante artículos recopilados de bases de datos indexadas, para la búsqueda de información se usaron las palabras claves que estén relacionadas con el tema central.

Tabla N°02: Ficha de registro de palabras clave.

Base de datos	Palabras clave
Science direct	En inglés: "Bacteria" AND "Heavy metals" AND "removal" AND "Tannery wastewater" OR "Electroplating wastewater" OR "industrial wastewater" OR "municipal wastewater"
ProQuest	En inglés: "Bacteria" AND "Heavy metals" AND "removal" AND "Tannery wastewater" OR "Electroplating wastewater" OR "industrial wastewater" OR "municipal wastewater"
Pubmed	En inglés: "Bacteria" AND "Heavy metals" AND "removal" AND "Tannery wastewater" OR "Electroplating wastewater" OR "industrial wastewater" OR "municipal wastewater"
Ebsco	En español: "Bacterias" y "Metales pesados" y "remoción" y "Aguas residuales de tenería" o "Aguas residuales de galvanoplastia" o "aguas residuales industriales" o "aguas residuales municipal" En inglés: "Bacteria" AND "Heavy metals" AND "removal" AND "Tannery wastewater" OR "Electroplating wastewater" OR "industrial wastewater" OR "municipal wastewater"
Redalcy	En inglés: "Bacteria" AND "Heavy metals" AND "removal" AND "Tannery wastewater" OR "Electroplating wastewater" OR "industrial wastewater" OR "municipal wastewater"

Fuente: Elaboración propia

3.6. Procedimiento

Para el procedimiento de este estudio, se realizó de la siguiente manera:

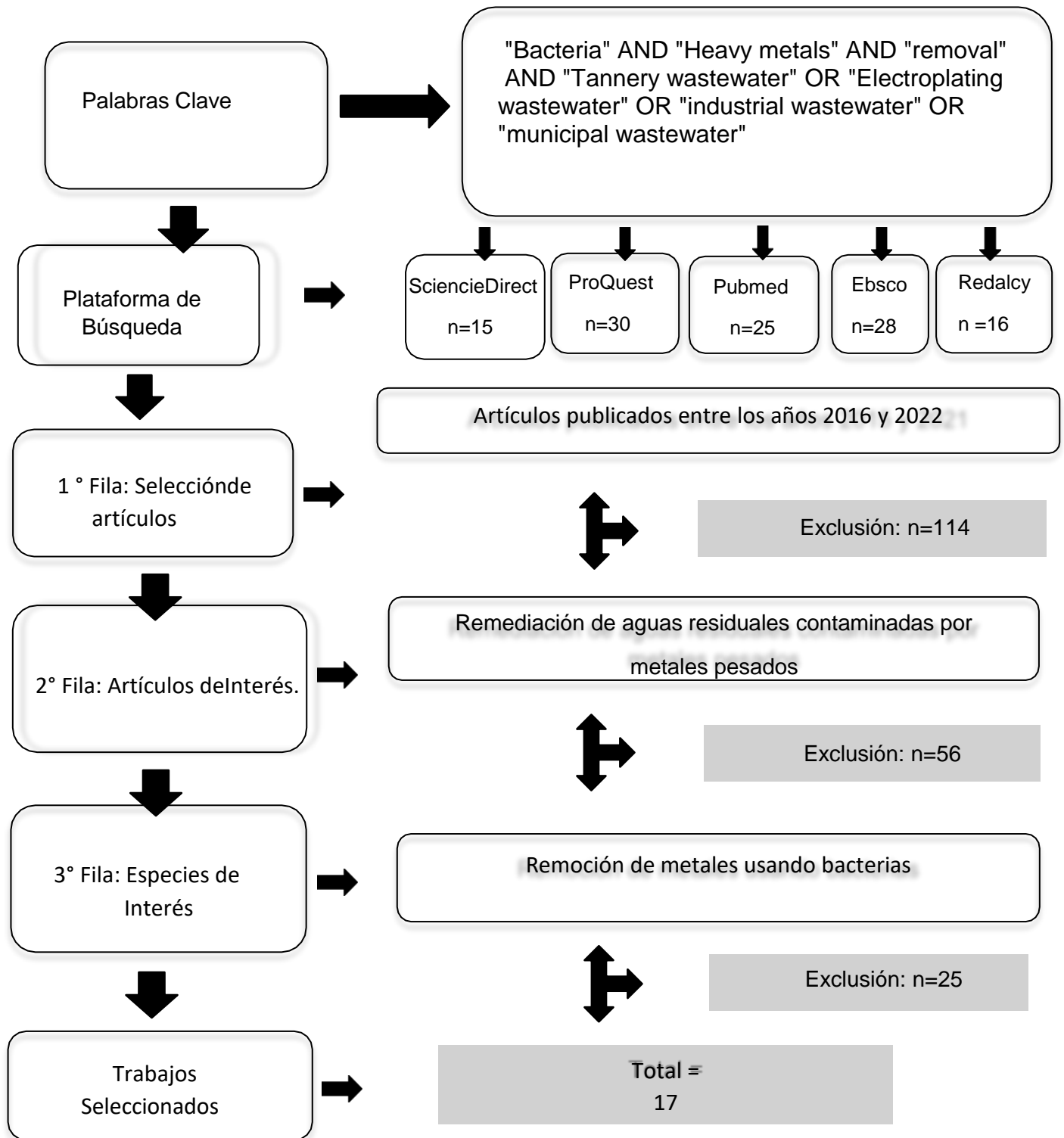


Figura N°01: Procedimiento de Investigación
Fuente: Elaboración propia.

En el estudio se seleccionó diecisiete artículos de acceso libre indexados los cuales cumplieron con los siguientes criterios: entre el año 2016-2022, bacterias de tipo aeróbicas, anaeróbicas y facultativas, bacterias para remover metales pesados principalmente el cromo, mercurio, níquel y plomo en aguas residuales y se cuantifique en términos de porcentaje de remoción, mediante estos criterios pudo dar lugar a la selección de los resultados, se realizó un minuciosa análisis de los artículos recopilados para la discusión. Se plantearon las conclusiones de acuerdo a los objetivos específicos planteados.

3.7. Rigor científico

La investigación empleó únicamente el uso de artículos en la base de datos indexadas, se realizó la selección de los artículos científicos siguiendo los criterios de inclusión no mayor de 7 años y de acceso libre, cada uno de los artículos empleados en el estudio presentan una data de alta confiabilidad y veracidad ya que fueron realizados por especialistas antes de ser publicados.

3.8. Método de análisis de datos

Para tabular los datos se utilizó una hoja de cálculo de Microsoft Excel 2019 versión 19.0 para categorizar y seleccionar la información de cada artículo de manera que se pudieran alcanzar los objetivos de la investigación. Dicha información se clasificó en filas y columnas donde se mostraron: Autor, título del artículo, tipo de bacteria, metal pesados tipo de aguas residuales, porcentaje de remoción y parámetros fisicoquímicos.

3.9. Aspectos éticos

La presente investigación garantiza la integridad en el procesamiento durante la recolección y tabulación de los datos, así como en los antecedentes en los que se realizó de manera objetiva, respetando los derechos de autor de cada publicación que fueron elegidas para ser parte de la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Con base a la búsqueda de artículos científicos en varias bases de datos indexadas se pudieron identificar 52 investigaciones correspondientes para los años 2016 al 2022.

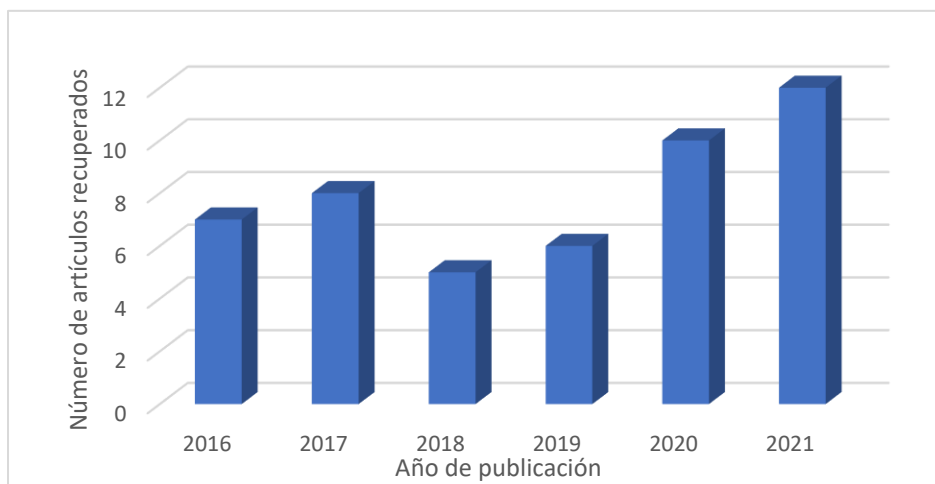


Figura N°02: Artículos científicos identificados de la investigación por año de acceso libre.

Fuente: Elaboración propia.

La figura N°2 representa el interés de los investigadores en realizar investigaciones sobre el tema del uso de bacterias para remediar metales pesados presentes en aguas residuales, los cuales fueron recopiladas desde los años 2016 al 2022 de bases de datos indexadas como ScienceDirect, ProQuest Ebsco, Pubmed y Redalcy.

4.1. Remoción de metales pesados por tipo de bacterias

Según los artículos científicos que se recopilaron, para evaluar la remoción de metales pesados en aguas residuales según el tipo de bacteria, en la siguiente tabla se presenta la eficiencia que tiene el tipo de bacteria de acuerdo a la necesidad de oxígeno como aeróbicas y facultativas (aeróbicas - anaeróbicas) en la remoción de metales pesados como cromo, mercurio, níquel y plomo. Se logra evidenciar la capacidad de cada especie de bacteria en función al porcentaje de remoción de metales pesados.

Tabla N° 03: Remoción de metales pesados por tipo de bacteria (Aeróbica)

N°	Autor	Tipo de bacteria	Tipo de aguas residuales	Especie	Metal evaluado				Porcentaje de remoción (%)
					Cr	Hg	Ni	Pb	
1	Guerrero et al. (2021)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Bacilo thuringiensis</i>	x				99.42
2	Naguib et al.(2019)	Aeróbico	Municipal	<i>Estenotrofomona maltophilia</i>		x			99.9
		Aeróbico		<i>Pseudomona stutzeri</i>		x			98.94
3	Prachi et al. (2020)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Bacillus subtilis</i>	x				88
4	Linlin et al. (2021)	Aeróbico	Galvanoplastia	<i>Thiobacillus Acidophilus</i>				x	74.69
5	Soto et at. (2017)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Raoultella sp</i>	x				100
					x			32	
		Aeróbico		<i>Bacilus subtilis</i>		x			100
6	Deborah et al. (2016)		Industrial					x	83
								x	59
		Aeróbico		<i>Pseudomonas putida</i>	x	x			79
							x		100
7	Bedoya et al. (2021)	Aeróbico	Municipal	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>				x	95
		Aeróbico		<i>Pseudomonas nitroreducens</i>				x	83.43
8	Mora et al. (2017)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Acinetobacter</i>	x				85.34
9	Berrin et al. (2020)	Aeróbico	Municipal	<i>Pseudomona aeruginosa</i>				x	84
		Aeróbico		<i>Pseudomona stutzeri</i>			x		76
10	Velez et al. (2021)	Aeróbico	Municipal	<i>Ochrobactrum anthropi</i>	x				61
11	Zhao et al. (2021)	Aeróbico	Industrial	<i>Pseudomonas cremoricolorata</i>		x			86
		Aeróbico		<i>Pseudomonas caricapapayae</i>		x			85

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N⁰04, se presenta la remoción de metales pesados según el tipo de bacteria que se desarrollaron en condiciones aeróbicas, que han demostrado eliminar de manera efectiva los metales pesados de diferentes tipos aguas residuales.

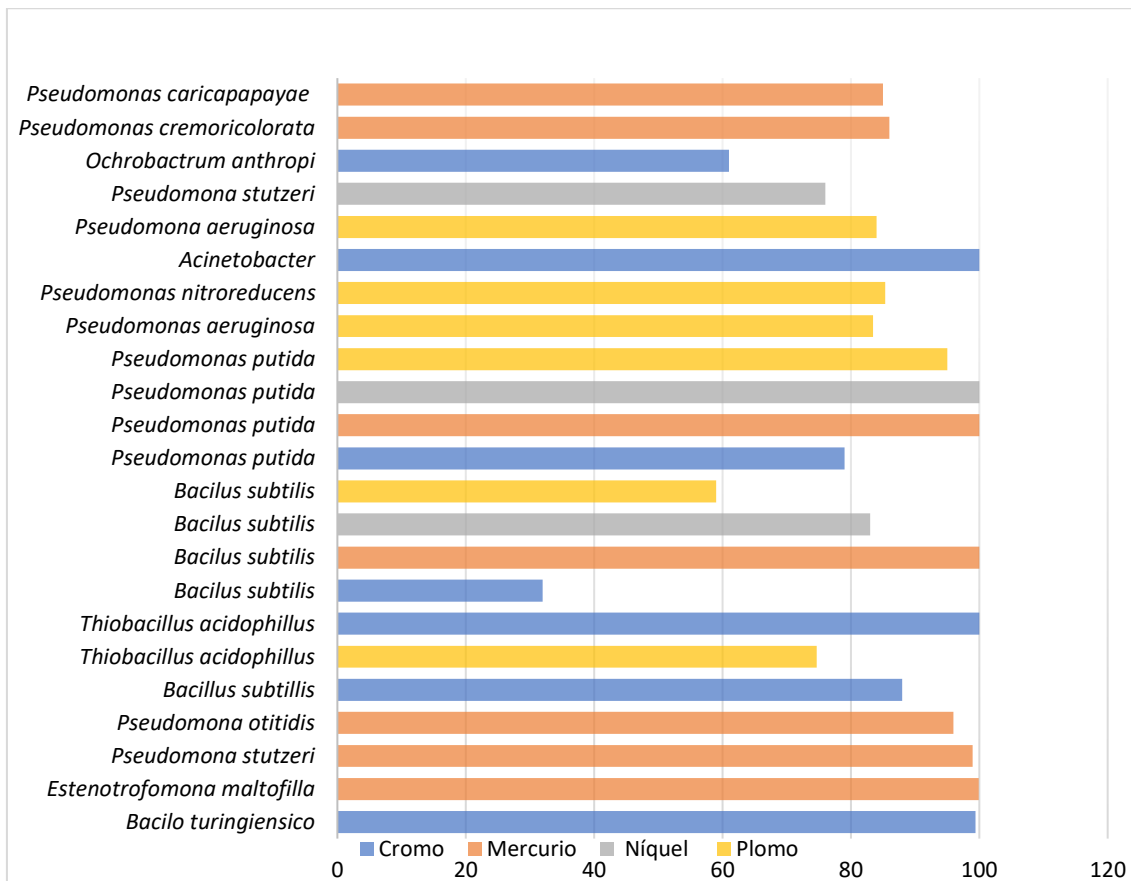


Figura N⁰03: Eficiencia en la remoción de metales pesados por bacterias Aeróbica
Fuente: Elaboración propia.

Con respecto a las especies de bacterias utilizadas de tipo aeróbica para la remoción de metales pesados, en la figura N⁰3 se observa la eficiencia de remoción de cada una de ellas, en el estudio realizado por (Guerrero et al., 2021) estudiaron la remoción de cromo hexavalente utilizando la bacteria *Bacillus thuringiensis*, la investigación realizó un diseño experimental con biorreactores en donde los aislados se recuperaron en medio de cultivo Luria Bertani (LB) con una concentración inicial de 59 ppm de Cr(VI) bajo la temperatura de 20°C y una agitación de 50vvm, logró un porcentaje de remoción del 99.42% durante 156 horas, A su vez (Guerrero et al., 2017) evaluaron la remoción de cromo en aguas

residuales, mediante el uso de la bacteria *Bacillus thuringiensis*, mostró porcentajes de reducción de cromo(VI) del 82.01% con una concentración inicial del 59 ppm de Cr(VI) del mismo modo usaron biorreactores los cuales operaron por 156 horas a 20°C, pH 7 y una agitación de 0.5 vvm, con base científica podemos resaltar que este tipo de especie del género *Bacillus sp.* alcanzó altos niveles de remoción en cromo hexavalente. Los estudios realizados por (Seragadam et al., 2021) utilizaron el género *Bacillus sp.* para la remoción de cromo hexavalente, cultivado en medio de Luria Broth a una concentración de 100 ppm de Cr(VI), bajo condiciones óptimas a una temperatura de 20°C y pH 7, logro una máxima remoción del 95.24% durante 24h, este aislado puede transformar de Cr(VI) a Cr(III) menos tóxico, ambas especies se desarrollaron en condiciones de temperatura de 20°C y pH neutro, dichos estudios demostraron una remoción mayor del 82% en cromo hexavalente.

Por otra parte, en base a la recolección de nuestra data científica, se lograron mayores porcentajes de remoción de mercurio en bacterias de tipo aeróbicas, como por ejemplo en el estudio de (Naguib et al., 2019) estudiaron la bacteria *Stenotrophomonas maltophilia* para la remoción de mercurio, tuvo una remoción del 99.9%, así mismo en el estudio realizado por (Zhao et al., 2021) evaluaron la bacteria *Stenotrophomonas maltophilia* para la remoción de mercurio, los aislados fueron recolectados de un río contaminado de aguas industriales mostrando tolerancia al Hg, los resultados demostraron mayor efecto de tratamiento cuando se mezclaron en proporciones iguales en aguas residuales que contenían 10 ppm de Hg durante 48 h, así mismo este tipo de especie también se podría utilizar para la remoción de plomo y en otros metales, como por ejemplo (Sim et al., 2017) utilizaron la especie *Stenotrophomonas maltophilia* y *Saccharicola bicolor*, en donde se demostró que la cepa *Stenotrophomonas maltophilia* fue la más eficiente en cuanto a la remoción de Pb, Cu, Zn y Cd en aguas residuales, reafirmando los estudios anteriores la bacteria *Stenotrophomonas maltophilia* también se puede utilizar para la remoción de cromo hexavalente, (Raman et al., 2017) los ensayos revelaron que la cepa es capaz de resistir 400 ppm de cromo, sin hacer cambios intracelulares que indicaran morfológicamente la estabilidad de la cepa en presencia de cromo.

Tabla N°04: Remoción de metales pesados por tipo de bacteria (Facultativa)

N°	Autor	Tipo de bacteria	Tipo de aguas residuales	Especie	Metal evaluado				Porcentaje de remoción (%)
					Cr	Hg	Ni	Pb	
1	Moreno et al. (2019)	Facultativas	Galvanoplastia	<i>Bacillus cereus</i>	x				75.6
2	Prachi et al. (2020)	Facultativas	Curtiembre	<i>Bacilus safensis</i>	x				91
3	Abuzar et al. (2017)	Facultativas	Industrial	<i>Klebsiella variicola</i>			x		50.49
4	Soto et al. (2017)	Facultativas	Curtiembre	<i>Klebsiella sp.</i>	x				100
		Facultativas		<i>Serratia sp.</i>	x				100
5	Mora et al. (2016)	Facultativas	Galvanoplastia	<i>Bacillus cereus.</i>	x				100
6	Utami et al. (2020)	Facultativas	Industrial	<i>Bacilo cereus</i>				x	54.54
7	Debajit et al. (2017)	Facultativas	industrial	<i>Pseudomonas sp.</i>				x	65
8	Deborah et al. (2016)	Facultativas	Industrial	<i>Escherichia Coli</i>		x			51
							x		100
								x	67
								51	
9	Mora et al. (2017)	Facultativas	Curtiembre	<i>Exiguobacterium</i>	x				100
				<i>Aeromonas serratia</i>	x			100	
				<i>Marcencens</i>	x			100	
10	Velez et al. (2021)	Facultativas	Municipal	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	x				29
				<i>Bacillus cereus</i>	x				100
11	Ramirez et al. (2017)	Facultativas	Industrial	<i>Photobacterium damselae</i>				x	69
12	Zhao et al. (2021)	Facultativas	Industrial	<i>Brevundimonas</i>		x			55

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°5, se presenta la remoción de metales pesados según el tipo de bacteria que se desarrollaron en condiciones facultativas es decir este tipo de bacterias tienen la capacidad de desarrollarse no solo en condiciones aeróbicas sino también en anaeróbicas, las cuales han demostrado eliminar de manera efectiva los metales pesados de diferentes tipos de aguas residuales.

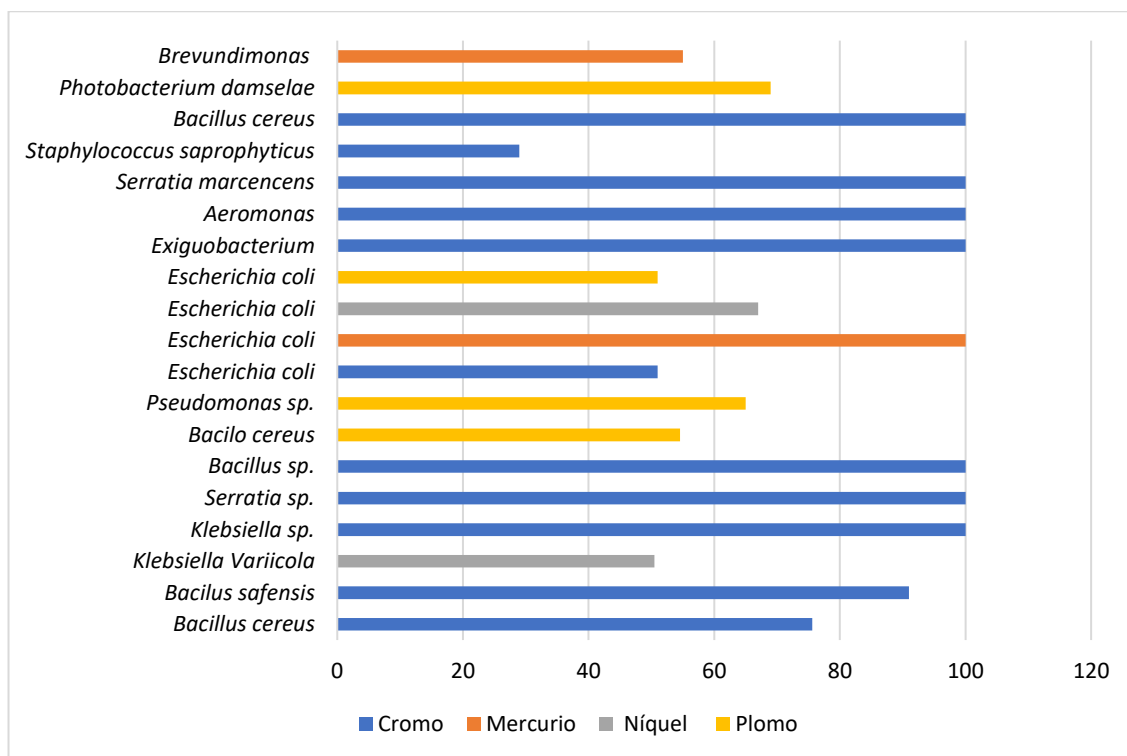


Figura N°04: Eficiencia en la remoción de metales pesados por bacterias Facultativas.

Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a las especies de bacterias utilizadas de tipo facultativas para la remoción de metales pesados, en la figura N°3 se observa la eficiencia de remoción de cada una de ellas, en el artículo (Mora et al., 2020) evaluaron la remoción de cromo hexavalente utilizando la bacteria *Bacillus cereus* especie que se desarrolló en condiciones facultativas, tuvo un porcentaje de remoción del 100% , comparando con (Vélez et al., 2021) evaluaron la misma bacteria *Bacillus cereus*, tuvo un porcentaje de remoción del 100% del mismo modo la especie *Bacillus cereus* se podría utilizar para la remoción de mercurio, como por ejemplo en el estudio (Aatif et al., 2022) dicha especie facultativa removió un 86% de mercurio de aguas residuales industriales, mostro una resistencia de 40

ppm de HgCl_2 , según (Utami et al., 2020) utilizaron la bacteria *Bacillus cereus*, alcanzo niveles de remoción de un 54.54%, la cepa mostro resistencia al plomo, debido a que los aislados fueron recolectados de aguas residuales de petróleo, en el estudio realizado por (Sharma et al., 2021) utilizaron la especie *Bacillus cereus* y *Bacillus pumilus* para la remoción de plomo y níquel demostraron un porcentaje de remoción del 95.93% de Pb y 95.94% de Ni en aguas residuales industriales, también en el estudio (Kostadinka et al., 2019) estudiaron la bacteria *Bacillus cereus* para la remoción de plomo y mercurio alcanzando tasas altas de remoción en plomo del 92.13%, Esto demuestra que la especie *Bacillus cereus* no solo es una alternativa prometedora para la remoción de cromo hexavalente sino también para mercurio, plomo y níquel, este tipo de especie tiene la ventaja de poder desarrollarse bajo condiciones aeróbicas y anaeróbicas potenciando su capacidad de remoción.

En el estudio realizado por (Vélez et al., 2021) usando cuatro especies de bacterias, una de ellas la *Staphylococcus saprophyticus*, tuvo la finalidad de remover cromo hexavalente en aguas residuales municipales, mediante la técnica de aislamiento se complementó en agar cetrimida a una temperatura (T°) de 25 °C, el experimento tuvo una duración de 96 horas, dicha bacteria alcanzó un 29% de remoción, a diferencia de (Muhammad et al., 2019) quien utilizó la especie *Staphylococcus aureus* para la remoción de cromo hexavalente bajo condiciones óptimas de temperatura de 35°C y pH 8, a una concentración inicial de 100 ppm, la cual tuvo una remoción del 99% de Cr(VI).

4.2. Condiciones de remoción de metales pesados en aguas residuales usando bacterias.

Para evaluar las condiciones óptimas en la remoción de metales pesados en aguas residuales usando bacterias, se recopilaron diversos artículos científicos indexados, en donde se evaluó bajo condiciones exactas de cada bacteria, el tipo de técnica empleada, parámetros fisicoquímicos y el tiempo. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N°5: Condiciones utilizadas por tipo de bacteria

Nº	Autor	Especie	Técnica utilizada	Temperatura (°C)	pH	Velocidad de agitación (rpm)	Tiempo (hr)
1	Guerrero et al.	<i>Bacilo turingiensico</i>	Reducción	20	–	–	156
2	Moreno et al.	<i>Bacillus cereus</i>	Reducción	30	7.5	125	120
3	Naguib et al.	<i>Estenotrofomona maltofilila</i>	Aislamiento	37	–	160	72
		<i>Pseudomona stutzeri</i>					
4	Prachi et al.	<i>Bacillus subtilis</i>	Biorremediación	30	5	110	96
		<i>Bacilus safensis</i>					
5	Linlin et al.	<i>Thiobacillus acidophillus</i>	Biorremediación	30	2.5	130	60
6	Abuzar et al	<i>Klebsiella variicola</i>	Adsorción	37	–	100	24
7	Soto et al.	<i>Klebsiella sp.</i>	Remoción	35	--	150	30
		<i>Raoultella sp.</i>					
		<i>Serratia sp</i>					
8	Mora et al.	<i>Bacillus cereus</i>	Biorremediación	28	6.5	–	34
9	Utami et al.	<i>Bacilo cereus</i>	Aislamiento	37	–	150	48
10	Debajit et al.	<i>Pseudomonas sp.</i>	Biorremediación	37	–	120	24
11	Deborah et al.	<i>Escheriachia Coli</i>	Biorremediación	121	7	--	30
		<i>Bacillu subtilis</i>					
		<i>Pseudomonas putida</i>					

12	Bedoya et al.	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> <i>Pseudomonas nitroreducens</i>	Adsorción	35	—	120	40
13	Mora et al.	<i>Exiguobacterium</i> <i>Acinetobacter</i> <i>aeromonas</i> <i>Serratia marcencens</i>	Aislamiento	30	—	—	360
14	Berrin et al.	<i>Pseudomona aeruginosa</i> <i>Pseudomona stutzeri</i>	Remoción	37	—	—	24
15	Velez et al.	<i>Staphylococcus saprophyticus</i> <i>Ochrobactrum anthropi</i> <i>Bacillus cereus</i>	Aislamiento	37	—	—	96
16	Ramirez et al.	<i>Photobacterium damsela</i>	Remoción	25	4.5- 6.5	—	96
17	Zhao et al.	<i>Pseudomonas cremoricolorata</i> <i>Pseudomonas c aricapapayae</i> <i>Brevundimonas</i>	Biorremediación	30	8	150	24

Fuente: Elaboración propia.

La tabla N°5 muestra las principales condiciones óptimas de bacterias en la remoción de metales pesados utilizadas en los artículos encontrados en la base de datos indexados de acceso libre, en donde bajo estas condiciones y técnicas empleadas para cada bacteria estudiado se obtuvo una mayor remoción en el tratamiento de metales pesados.

En el estudio que se realizó en Colombia utilizando *Bacillus thuringiensis* para la remoción de cromo en aguas residuales de curtiembre, emplearon un diseño experimental con biorreactores bajo las condiciones de temperatura (T°) 20 °C y una agitación de 50 rpm, durante 156 horas, logró una remoción de 99.42% de Cr(VI) (Guerrero et al., 2021), por otra parte (Vélez et al., 2021) usando cuatro especies de bacteria *Staphylococcus saprophyticus*, *Ochrobactrum anthropi* y *Bacillus cereus* con la finalidad de remover cromo hexavalente en aguas residuales de municipales, mediante la técnica de aislamiento, las bacterias se complementaron en agar cetrimida a una temperatura (T°) de 25 °C, el experimento tuvo una duración de 96 horas, dichas bacterias alcanzaron niveles altos de remoción del 100%, los autores de ambas investigaciones muestran un alto potencial de remoción de cromo hexavalente usando las especies *Bacillus thuringiensis* y *Staphylococcus*, comparado con el estudio de (Suresh et al., 2021) el cuál utilizó dos especies bacterianas *Bacillus thuringiensis* y *Staphylococcus* para la remoción de cromo hexavalente, en condiciones óptimas de temperatura (T°) 35°C y pH7 bajo una concentración de 50ppm lograron remover 86.42% y 97.34% respectivamente, ambas especies se desarrollan normalmente mayor a temperatura ambiente en aguas residuales de origen municipal y de curtiembre, ambas serían una buena alternativa para la remoción de cromo hexavalente.

El género de *Bacillus sp.* muestra un alto grado de resistencia de metales pesados, como por ejemplo en el estudio realizado por (Moreno et al., 2019) los resultados demuestran que el *Bacillus cereus* a una temperatura de 30°C, pH 7.5, velocidad de agitación de 125 rpm en 120 h tuvo un porcentaje de remoción del 75.6% de Cr(VI), en el estudio de (Arukula et al., 2020) quienes utilizaron la especie *Bacillus cereus* en la remoción de cromo hexavalente a una temperatura de 35°C y pH 6 en un periodo de 24 h, logro tasas altas de remoción del 95%,

así mismo (Mora et al., 2016) quien utilizo la bacteria *Bacillus cereus* para la remoción de Cr(VI), a una temperatura de 28°C, pH 6.5 en 34 h las colonias bacterianas resistentes y tolerantes alcanzaron niveles altos de remoción de Cr(VI) del 100% , también en el estudio de (Huang et al., 2018) quienes utilizaron la cepa *Bacillus cereus* para la remoción de plomo, tuvo una concentración inicial del 10 ppm de Pb bajo un pH de 7, logrando un 40.3% en la remoción de plomo. en el estudio (Naskar et al., 2016) donde se estudiaron las condiciones óptimas para explorar la potencialidad de la biomasa *Bacillus cereus* para la remoción de níquel en condiciones óptimas bajo una temperatura de 40°C y pH 7, basándonos en los artículos anteriormente mencionados este tipo de bacteria se desarrolla bajos condiciones de pH 6 a neutro y a una temperatura entre 28-40°C mostrando un mayor efecto en la remoción de metales pesados.

Sin embargo, la cepa *Bacillus firmus* en condiciones de cultivo aeróbico, se desarrollan eficientemente en pH básico de 8-10 y a una temperatura (T) de 35°C, esta especie en concentraciones altas de Cr(VI) es más lento el proceso, en efecto podría reducirse en un periodo de tiempo más largos para una mayor eficiencia, mostrando deficiencias en presencia de metales pesados como cadmio y zinc inhiben la remoción (Gopi et al., 2018), en otro estudio (Jiang et al., 2019) quien utilizó la especie *Paenibacillus sp* en condiciones óptimas de pH 5 temperatura de cultivo 30 °C y velocidad de agitación de 150 rpm , logró porcentajes de remoción del 95.1% y 317 ppm de Pb.

Por otro lado (Soto et al., 2017) quienes estudiaron la eficiencia de tres cepas bacterianas en la reducción de cromo en aguas residuales de curtiembre, la cepa *Serratia sp.* logro una tasa de eliminación de cromo del 100% mediante la técnica de remoción, las muestras fueron incubadas a 35 °C en agitación constante de 150 rpm durante 30 horas, mientras que (Mora et al., 2017) en su estudio utilizó cuatro especies de bacterias para la remoción de cromo hexavalente usando la técnica de aislamiento ,la especie *Serratia marcencens*, se suplemento en caldo de medio de Luria Bertani a una temperatura (T⁰) de 30 °C logrando un porcentaje de reducción de cromo hexavalente del 100% cabo de un período de 28 a 30 horas, el estudio de (Diaz et al., 2022) con biomasa de *Serratia marcencens* mostraron una mayor capacidad de biosorción para 12.1 ppm de Ni

en un tiempo de contacto de 1h, después de 2 h la capacidad fue de 15.8 ppm de Ni, la influencia de pH fue significativa, en base a literatura esta especie no se desarrolla en pH 2 ni mayor a 8 , el estudio demostró que la especie en pH 4.5 se desarrolló eficientemente y a una temperatura (T) de 30°C, los valores de remoción oscilaron entre un 70-94% de Ni.

4.3. Remoción de metales pesados usando bacterias según el tipo de agua residual.

Para evaluar la mayor eficiencia en la remoción del metal evaluado y el tipo de agua residual, se recolectaron diferentes artículos científicos indexados de acceso libre, en donde se empleó el tipo de agua residual, el tipo de metal evaluado y el porcentaje de remoción. Los datos obtenidos se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N°6: Tipo de agua residual de curtiembre para la remoción de metales pesados.

Nº	Autor	Tipo de bacteria	Tipo de aguas residuales	Especie	Metal evaluado				Porcentaje de remoción (%)
					Cr	Hg	Ni	Pb	
1	Guerrero et al. (2021)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Bacilo turingiense</i>	x				99.42
2	Prachi et al. (2020)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Bacillus subtilis</i>	x				88
		Facultativa		<i>Bacillus safensis</i>	x				91
		Facultativa		<i>Klebsiella sp.</i>	x				100
3	Soto et al. (2017)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Raoultella sp.</i>	x				100
		Facultativa		<i>Serratia sp.</i>	x				100
		Facultativa		<i>Exiguobacterium</i>	x				100
4	Mora et al. (2017)	Aeróbico	Curtiembre	<i>Acinetobacter</i>	x				100
		Facultativa		<i>Aeromonas</i>	x				100
		Facultativa		<i>Serratia marcencens</i>	x				100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°6, podemos observar distintas especies de bacterias utilizados en la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre con porcentajes de remoción superiores al 88%, demostrando la eficiencia las bacterias en aguas residuales de curtiembre, logrando evidenciar la capacidad cada bacteria en función al porcentaje de remoción de metal cromo (VI).

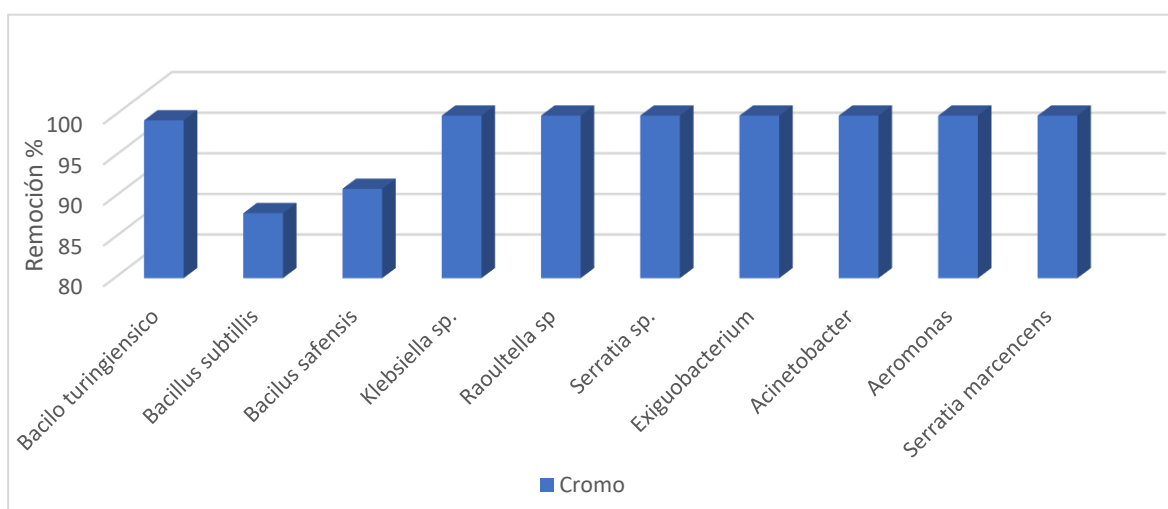


Figura N°05: Eficiencia de bacterias en aguas residuales de curtiembre

Fuente: Elaboración propia.

La figura N°5, se muestra los porcentajes alcanzados de bacterias en la relación a su eficiencia, se aprecia cuatro estudios donde se demuestra la eficiencia bacterias en efluentes de curtiembre, Por ejemplo, (Mora et al., 2017) en su estudio utilizó cuatro especies de bacterias para la remoción de cromo hexavalente usando la técnica de aislamiento, la cepa *Acinetobacter*, se suplemento el caldo de medio de Luria Bertani a una temperatura (T°) de 30 °C y a una concentración inicial de 10 ppm de Cr (VI), tuvo un porcentaje de remoción del 100% al cabo de un período de 28 a 30 horas, así mismo en el estudio (Da Silveria et al., 2020) utilizó la bacteria de *Acinetobacter ursingi* para la remoción de cromo hexavalente mediante la técnica de reducción, el aislado se suplemento con caldo nutritivo que contenía 3g/l de extracto de carne, 5g/l de peptona, 15g/l de agar a una temperatura (T°) de 30°C , velocidad agitación de 150 rpm , los resultados demostraron que a una concentración de 250 ppm Cr(VI) removió un 61.6% y a una concentración de 500 ppm de Cr(VI) removió un 24.5%, dicho experimento tuvo una duración de 48 horas, demuestra que la especie *Acinetobacter* presenta mayor porcentaje de remoción de cromo hexavalente en concentraciones bajas a una temperatura de 30°C, ambos estudios se produjeron en aguas residuales de curtiembre.

En su estudio (Prachi et al., 2020) utilizó las bacterias *Bacillus Subtillis* y *Bacillus Safensis*, donde se aislaron las cepas bacterianas resistentes a Cr(VI) a partir de efluentes de curtiembre, se realizó un diseño experimental con biorreactores en condiciones optimizadas, tuvo una remoción de Cr (VI) del 88 y 91 %, respectivamente, en el mismo estudio se realizó la eficiencia de remoción al emplear ambas bacterias (co-cultivo), los resultados mostraron que después del tratamiento con co-cultivo para la remoción de cromo, níquel y plomo , alcanzaron niveles del 95, 65 y 63% respectivamente, en otro estudio realizado en base al género *Bacillus sp* (Brattacharjee et al., 2021) quienes usaron las cepas *Bacillus cereus* y *Brevibacillus brevis*, mostraron capacidad para reducir cromo hexavalente por la degradación de proteasa, queratinasa, lipasa y cuero en aguas residuales de curtiembre.

Por otra parte, en base a nuestra data científica, la cepas *Klebsiella sp.* y *Serratia sp.* las cuales se aplicaron bajo a una temperatura de 35°C, ambas alcanzaron

un porcentaje remoción del 100% en cromo hexavalente (Soto et al., 2017), así mismo en el estudio realizado por (Mora et al., 2017) quien utilizo la especie *acinetobacter* y *serratia marcences* para la remoción de cromo hexavalente, a una temperatura de 30°C logro un porcentaje de remoción del 100% de cada una de ellas, sin embargo, en el estudio realizado por (Mohamad et al., 2018) quienes utilizaron las bacterias *Klebsiella pneumonia*, *Klebsiella Variicola*, *Acinetobacter gernerii* y *Serratia marcencens*, para la remoción de cromo hexavalente en aguas residuales de curtiembre, dichas especies mostraron una alta tolerancia al Cr(VI), las cepas se emplearon bajo una concentración de 20 ppm de Cr(VI) logrando un porcentaje de remoción de solo el 40% en cada una de las cepas, cabe recalcar que todas las bacterias se desarrollaron a una temperatura de 35°C , en excepción de la cepa *Acinetobacter gernerii* y se desarrollaron en un pH neutro en excepción de la cepa *Klebsiella pneumonia*, en base a lo anteriormente mencionado dichas especies se desarrollaron normalmente en temperaturas mayores de 30°C en efluentes de curtiembres.

Tabla N°7: Tipo de agua residual de galvanoplastia para la remoción de metales pesados

N°	Autor	Tipo de bacteria	Tipo de aguas residuales	Especie	Metal evaluado				Porcentaje de remoción (%)
					Cr	Hg	Ni	Pb	
1	Moreno et al. (2019)	Facultativa	Galvanoplastia	<i>Bacillus cereus</i>	x				75.6
2	Linlin et al. (2021)	Aeróbico	Galvanoplastia	<i>Thiobacillus acidophilus</i>				x	74.69
3	Mora et al. (2016)		Ganvanoplastia	<i>Bacillus cereus.</i>	x				100

Fuente: Elaboración propia

En la tabla N°7, podemos observar distintas especies de bacterias utilizados en la remoción de cromo hexavalente y plomo en aguas residuales de galvanoplastia con porcentajes de remoción superiores al 74.69% en plomo y 75.6% en cromo, demostrando la eficiencia las bacterias en aguas residuales de galvanoplastia, logrando evidenciar la capacidad cada bacteria en función al porcentaje de remoción de metal Cromo (VI) y Pb.

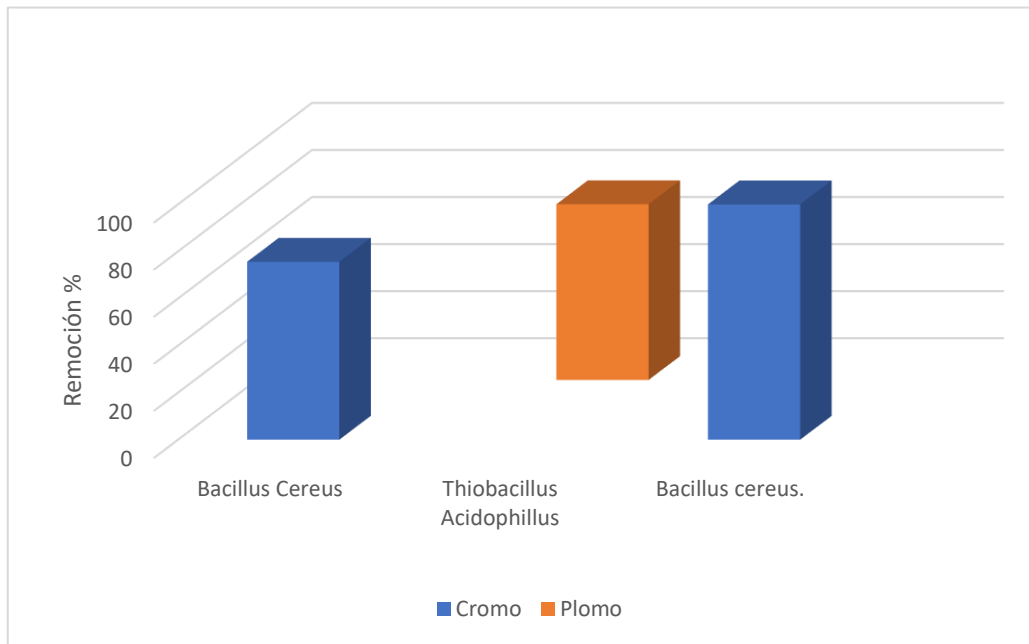


Figura N°6: Eficiencia de bacterias en aguas residuales de galvanoplastia.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°6, se aprecia tres estudios donde se muestra la eficiencia de tres bacterias en aguas residuales de galvanoplastia, la cual destaca la especie *Bacillus cereus* como por ejemplo en el estudio realizado por (Moreno et al., 2019) donde las muestras se tomaron de los mismos efluentes de una planta galvánica, los resultados muestran que la bacteria *Bacillus cereus* presenta un mayor porcentaje de remoción de cromo (VI) del 75.6% en aguas residuales reales con glucosa, debido a que la glucosa es usado como fuente de energía que facilita la bioadsorción de metales pesados, así mismo (Mora et al., 2016) utiliza la bacteria *Bacillus cereus* para la remoción de Cr(VI), las muestras se tomaron de aguas residuales provenientes de industria metalizada de galvanoplastia, en donde las colonias bacterianas resistentes y tolerantes

alcanzaron niveles altos de remoción de Cr(VI) del 100%, a su vez (Saket et al., 2022) en sus estudio utiliza la bacteria *Bacillus cereus* la cual mostró una eficiencia máxima de biosorción de níquel del 57.2% lo que resultó una eliminación de 1003.50 ppm de Ni de los efluentes de galvanoplastia que inicialmente contenía 1791 ppm de Ni, por otra parte, en otro experimento utilizando la especie *Bacillus safensis* demostró que tuvo una alta eficiencia de remoción de Ni del 91.3 % con una concentración inicial de 600 ppm, lo que demuestro que las cepas bacterianas aisladas de la planta *Vigna radita* que crecen en suelos contaminados de níquel de efluentes de galvanoplastia muestran una alta resistencia para el empleo de reducción del níquel (Kashyap et al., 2022).

Tabla N°8: Tipo de agua residual industrial para la remoción de metales pesados.

N°	Autor	Tipo de bacteria	Tipo de aguas residuales	Especie	Metal evaluado				Porcentaje de remoción (%)
					Cr	Hg	Ni	Pb	
1	Abuzar et al. (2017)	Facultativa	Industrial	<i>Klebsiella variicola</i>			x		50.49
2	Utami et al. (2020)	Facultativa	Industrial	<i>Bacilo cereus</i>				x	54.54
3	Debajit et al. (2017)	Facultativa	Industrial	<i>Pseudomonas sp.</i>				x	65
					x				51
		Facultativa		<i>Escherichia coli</i>		x			100
							x		67
					x			x	51
									32
						x			100
4	Deborah et al. (2016)	Aeróbica	Industrial	<i>Bacillus subtilis</i>			x		83
								x	59
					x				79
		Aeróbica		<i>Pseudomonas putida</i>		x			100
							x		100
								x	95
5	Ramirez et al. (2017)	Facultativa	Industrial	<i>Photobacterium damsela</i>				x	69
		Aeróbica		<i>Pseudomonas cremoricolorata</i>			x		86
6	Zhao et al. (2021)	Aeróbica	Industrial	<i>Pseudomonas caricapapayae</i>			x		85
		Facultativa		<i>Brevundimonas</i>			x		55

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°8, podemos observar distintas especies de bacterias utilizados en la remoción de cromo, mercurio, níquel plomo en aguas residuales industriales, alcanzando porcentajes de remoción en mercurio del 100%, en cromo del 79%, en níquel del 100% y plomo del 95%.

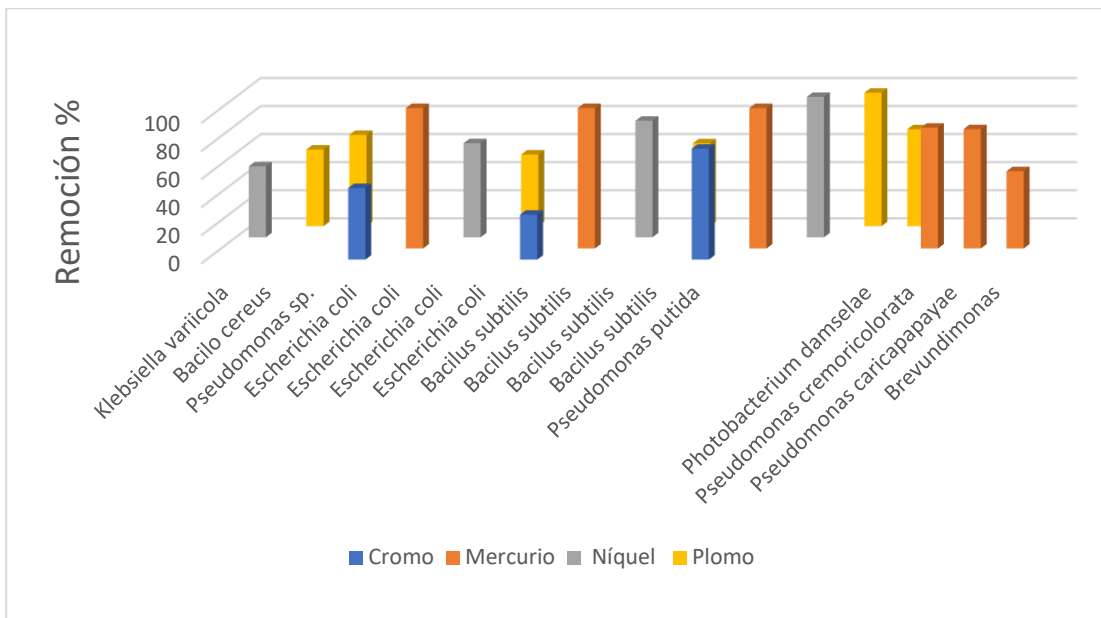


Figura N°7: Eficiencia de bacterias en aguas residuales Industriales.

Fuente: Elaboración propia

En la Figura N°7 , se aprecia seis estudios donde se demuestra la eficiencia de bacterias en aguas residuales industriales, como por ejemplo en el estudio realizado por (Deborah et al., 2016) quien utilizo tres tipos de bacterias como la *Escherichia coli*, *Bacillus subtilis* y *Pseudomonas putida* para la remoción de cromo, mercurio, níquel y plomo, las muestras se recolectaron del efluente de aguas residuales industriales de destilerías, destacándose la especie *Pseudomonas Putida* con mayor tasa de remoción en Cr del 79%, en Hg del 100%, en Ni del 100% y Pb en 95%, a diferencia del estudio realizado por (John et al., 2022) quienes utilizaron la bacteria *Pseudomonas putida* para la remoción de cromo hexavalente, la bacteria se suplemento en 100 ml de caldo LB logrando un porcentaje de remoción del 48.11%, Por otro lado, (Zhao et al., 2021) realizó un estudio usando tres cepas bacteria *Pseudomonas cremoricolorata*, *Pseudomonas caricapapayae* y *Brevundimonas* para la remoción de mercurio,

las muestras se recolectaron de la entrada del drenaje industrial en el Río Amarillo, logró una porcentaje de remoción de un 86,85 y 55% respectivamente, del mismo modo con la finalidad de remover mercurio en aguas residuales industriales, se realizó un estudio (Hosein et al., 2020) utilizando la bacteria *Pseudomonas marginalis* y *Pseudomonas simiae* para la remoción de mercurio la cual logró un porcentaje de remoción del 99.24% y 62.47% respectivamente, esto nos demuestra que el género *Pseudomonas* es una bacteria con capacidad de remover distintos metales resaltando el mercurio en aguas residuales de origen industrial.

Tabla N°09: Tipo de agua residual municipal para la remoción de metales pesados

N°	Autor	Tipo de bacteria	Tipo de aguas residuales	Especie	Metal evaluado				Porcentaje de remoción (%)
					Cr	Hg	Ni	Pb	
1	Naguib et al. (2019)	Aeróbico	Municipal	<i>Estenotrofomona maltophilia</i>		x			99.9
				<i>Pseudomona stutzeri</i>		x			98.94
				<i>Pseudomona otitidis</i>		x			95.96
2	Bedoya et al. (2021)	Aeróbico	Municipal	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>				x	83.43
				<i>Pseudomonas nitroreducens</i>				x	85.34
3	Berrin et al. (2020)	Aeróbico	Municipal	<i>Pseudomona aeruginosa</i>				x	84
				<i>Pseudomona stutzeri</i>			x		76
4	Velez et al. (2021)	Facultativa	Municipal	<i>Staphylococcus saprophyticus</i>	x				29
				<i>Ochrobactrum anthropi</i>	x				61
				<i>Bacillus cereus</i>	x				100

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°8, podemos observar distintas especies de bacterias utilizados en la remoción de cromo, mercurio, níquel plomo en aguas residuales municipales, alcanzando porcentajes de remoción en mercurio del 99.9%, en cromo del 100%, en níquel del 76% y plomo del 85.34%.

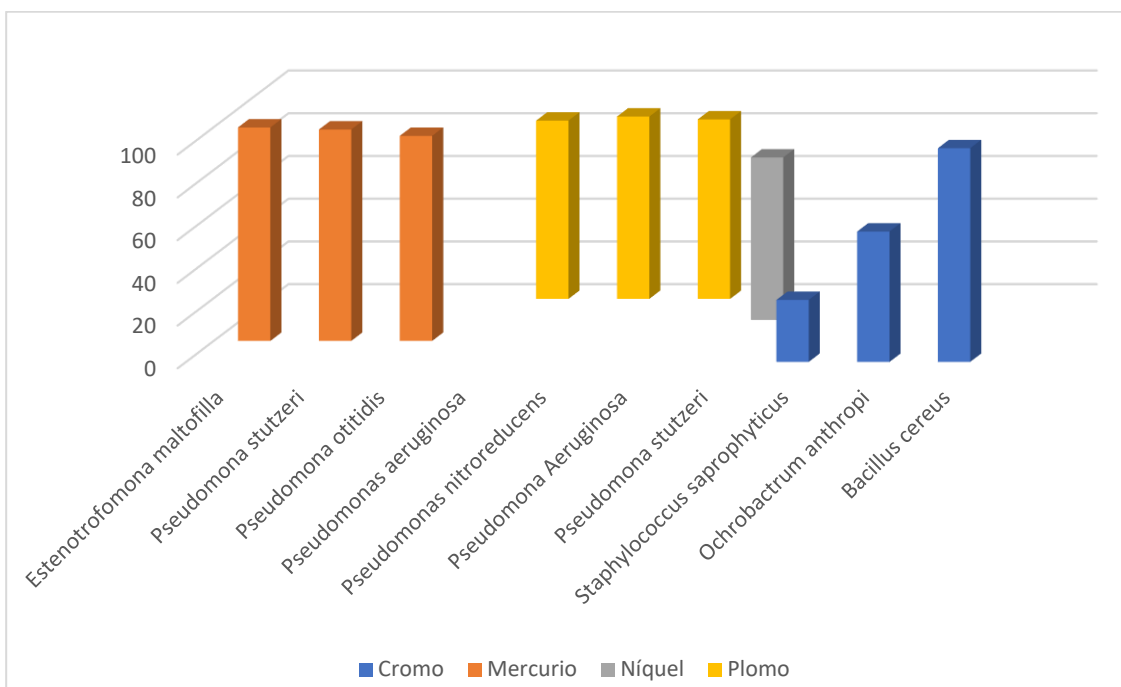


Figura N°8: Eficiencia de bacterias en aguas residuales municipales.

Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°7 se aprecia seis estudios donde se demuestra la eficiencia de bacterias en aguas residuales municipales, por ejemplo en el estudio realizado en Egipto (Naguib et al., 2019) utilizó tres bacterias *Stenotrofomona maltofilla*, *Pseudomona stutzeri*, *Pseudomona otitidis*, los cultivos se sembraron en medio de agar nutritivo de 20 ppm de $HgCl_2$ una Temperatura (T°) de $37^\circ C$, velocidad de agitación de 160 rpm, a una concentración inicial de 20 ppm de mercurio, el experimento tuvo un periodo de 72 horas usando la técnica de aislamiento, destacó la especie *Stenotrofomona maltophilia* la cuál alcanzó un 99.9% de remoción en mercurio, así mismo en el estudio realizado (An Qiany et al., 2021) en China, utilizó la especie *Stenotrofomona maltophilia*, la cepa se cultivó en caldo de Luria Bertani, a una temperatura de (T°) de $30^\circ C$, velocidad de agitación de 120 rpm y pH 7.5, a una concentración de 50ppm de Cr (VI) dicha especie tuvo un porcentaje de remoción del 93.2% en un periodo de 72 horas, ambos estudios se realizaron mediante la técnica de aislamiento, en aguas

residuales de origen municipal, este tipo de especie bacteriana sería una alternativa para la remoción de metales pesados como mercurio y cromo.

Por otra parte, (Vélez et al., 2021) usando tres cepas bacterianas, destacándose la especie *Bacillus Cereus* cepa bacteriana que se recolecto de la planta de tratamiento de aguas residuales, alcanzo el mayor nivel de remoción de Cr(VI) del 100%, finalmente en el estudio realizado (Sanaz et al., 2017) quien utilizo las especies *Bacillus laterosporous* y *Yersinia pseudotuberculosis*, en aguas residuales que contenían 100 ppm de plomo logro un porcentaje de remoción del 50.6% Pb en aguas residuales municipales.

V. CONCLUSIONES

- Se determinó que las bacterias *Pseudomonas sp.* y *Bacillus sp* presentan una alta eficiencia en la remoción de Cr, Ni y Pb en diferentes tipos de aguas residuales.
- Se determinó que las bacterias de tipo aeróbica presentan mayor porcentaje de remoción en Cr, Hg, Ni y Pb que las bacterias de tipo facultativas.
- Se determinó la eficiencia de la bacteria de género *Pseudomas sp.* la cuál se desarrolla de manera óptima cuando la temperatura oscila entre un 30 – 37 °C, especialmente para remover de plomo y mercurio logrando porcentajes de remoción superiores al 62%.
- Se determinó que la eficiencia de la bacteria de especie *Bacillus cereus* se desarrolla de manera óptima cuando la temperatura oscila entre un 28 - 40°C y a un neutro para una mayor efectividad en la remoción de cromo y plomo logrando porcentajes de remoción mayores al 65%.
- Se determinó que la bacteria *Bacillus cereus* presentan una alta remoción en cromo hexavalente mayor al 75% y en níquel mayor al 57% en aguas residuales de galvanoplastia.
- Se determinó que el género *Pseudomas* son bacterias que muestran una alta capacidad de remoción en diversos metales en aguas residuales industriales, especialmente la especie *Pseudomanas putida* la cual alcanzo porcentajes de remoción del 100% en mercurio y níquel.
- Se determinó que la bacteria *Stenotrophomona maltophilia* presentan una alta remoción de Cr(VI) y mercurio del 100% en aguas residuales de municipales, los estudios demuestran que se desarrollan con eficientemente a temperatura mayores de 30°C.

VI. RECOMENDACIONES

- Comparar las técnicas de remoción de bacterias y determinar en cuál de ellas se alcanza la mayor eficiencia en la remoción.
- Profundizar más acerca de investigaciones en donde se determine si a mayor concentración de bacterias existe mayor eficiencia en la remoción de metales pesados.
- Profundizar más acerca de investigaciones en donde se determine si al combinar bacterias existe mayor eficiencia en la remoción de metales pesados.
- Realizar comparaciones con distintos estudios donde se demuestre el grado de efectividad que tienen las bacterias con distintos metales pesados.

REFERENCIAS

AATIF, Amin [et al]. In vitro and in silico Studies Reveal Bacillus cereus AA-18 as a Potential Candidate for Bioremediation of Mercury-Contaminated Wastewater. *Frontiers in Microbiology* [en línea]. 2022.[Fecha de Consulta: 10 de Julio de 2022].

Disponible en:

<https://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsdoj&AN=edsdoj.0503a36960f4b9f83691b4a884ffdf&lang=es&site=eds-live>

ISSN: 1664-302X

ABDELBARY, Salah [et al]. Trends in Heavy Metals Tolerance and Uptake by *Pseudomonas aeruginosa*. En *Pseudomonas Aeruginosa-An Armory Within*. IntechOpen [en línea]. 2019. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/66686>

ABUZAR, Muhammad [et al]. Assessment of heavy metal tolerance and biosorptive potential of *Klebsiella variicola* isolated from industrial effluents. *AMB Express* [en línea]. 2017.[Fecha de Consulta: 25 de Junio de 2022].

Disponible en:

https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5622018/pdf/13568_2017_Article_482.pdf

ARMADOR, Anisley [et al.]. Tratamiento de lodos, generalidades y aplicaciones. *Revista CENIC. Ciencias Químicas* [en Línea]. 2015. [Fecha de Consulta: 20 de noviembre de 2021].

Disponible en:<https://www.redalyc.org/pdf/1816/181642434003.pdf>

ISSN: 1015-8553

ARVIND, Singh [et al]. Biological remediation technologies for dyes and heavy metals in wastewater treatment: New insight. *Bioresource Technology*[en línea]. 2022. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852421014966>

AN, Qiany [et al]. Simultaneous denitrification and hexavalent chromium removal by a newly isolated *Stenotrophomonas maltophilia* strain W26 under aerobic conditions. *Química Ambiental* [en línea]. 2021. [Fecha de Consulta: 8 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=22e54df9-84b0-4fe9-8f76-0ab7d16b9e19%40redis>

ISSN: 1448-2517

ARAKULA, Deepa [et al]. An experimental approach for the utilization of tannery sludge-derived *Bacillus* strain for biosorptive removal of Cr(VI) -contaminated wastewater. *Revista Springer* [en línea]. 2020. [Fecha de Consulta: 113 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=62befa9a-41eb-4a7b-9568-cd212dbe1f5c%40redis>

BEDOYA, Jessica [et al]. Bioremediation potential of *Pseudomonas* genus isolates from residual water, capable of tolerating lead through mechanisms of exopolysaccharide production and biosorption. *Biotechnol Rep (Amst)* [en línea]. 2021. [Fecha de Consulta: 15 de junio de 2022].

Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8569635/pdf/main.pdf>

BELTRAN, Mayra [et al]. Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr), y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. Revista Facultad de Ciencias Básicas. [en línea]. 2016. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/340616607_Biorremediacion_de_metales_pesados_cadmio_Cd_cromo_Cr_y_mercurio_Hg_mecanismos_bioquimicos_e_ingenieria_genetica_una_revision

BERRIN, Keloglu [et al]. Atık sudan izole edilen Pseudomonas spp. suşları ile kurşun ve nikel ağır metallerinin giderimi. Türk Hijyen ve Deneysel Biyoloji Dergisi [en línea]. 2020. [Fecha de Consulta: 16 de Junio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=e52d0e92-2ea0-409b-a71b-6e68ed376ae0%40redis>

ISSN: 0377-9777

BRADIYAD, Shadid [et al]. Unraveling the Underlying Heavy Metal Detoxification Mechanisms of Bacillus Species. Revista microorganisms [en línea]. 2021. [Fecha De Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8402239/pdf/microorganisms-09-01628.pdf>

BRATTACHARJEE, Arghyadeep [et al]. BIORREMEDIACIÓN DE CROMO (VI) POR UN CONSORCIO MICROBIANO AISLADO DE EFLUENTES DE CURTIDURÍA Y SU POTENCIAL APLICACIÓN INDUSTRIAL. Revista de Ingeniería Ambiental y Gestión del Paisaje [en línea]. 2021. [Fecha De Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=ce71f3c6-1dd3-4462->

[a7ea-](#)

[cc06ea5cd69c%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsgcl.688079601&db=edsgih](#)

BRAVO, Carlos y QUISPE, Liduvina. Metales pesados: fuentes y sutoxicidad sobre la salud humana. Revista de Ciencias [en línea].2019. [Fecha De Consulta: 18 de noviembre de 2021].

Disponible en:

<https://revistas.unjbq.edu.pe/index.php/cs/article/view/842/912>

CORRALES, Lucia [et al]. Bacterias anaerobias: procesos que realizan y contribuyen a la sostenibilidad de la vida en el planeta. Nova [en línea]. 2015. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en:

<https://hemeroteca.unad.edu.co/index.php/nova/article/view/1717/1970>

COVARRUBIAS, Sergio y PEÑA, Juan. Contaminación ambiental pormetales pesados en México: problemática y estrategias de Fitorremediación. Revista internacional de contaminación ambiental [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de2021].

Disponible en:

[file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/49206-Texto%20del%20art%C3%ADculo-151503-1-10-20170405%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/49206-Texto%20del%20art%C3%ADculo-151503-1-10-20170405%20(1).pdf)

DA SILVERIA, Luis [et al]. Bioreduction of Cr(VI) by Indigenously Isolated Bacterial Strains from Stream Sediment Contaminated with Tannery Waste. Current Microbiology [en línea]. 2020. [Fecha de Consulta: 8 de julio de2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=d888008d-b4df-468d-a84d-8f50064d85b1%40redis>

ISSN: 0343-8651

DE ANDA, José. Saneamiento descentralizado y reutilización sustentable de las aguas residuales municipales en México. Sociedad ambiente [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455752575007>

ISSN: 2007-6576

DEBAJIT, Kalita [et al]. Study on bioremediation of Lead by exopolysaccharide producing metallophilic bacterium isolated from extreme hábitat. Biotechnology Reports [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 5 de julio de 2022].

Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2215017X17302783?token=962F8FA6B05F57FFC1F455C543C69C7A3227CF7D01B11BE9D470F867D573A07A4AF7A3229A02A1FEEE3F2DCDDA0D77A2&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712021504>

S. Deborah y J. Sebastin. Bioremediation of heavy metals from distilleries effluent using microbes. Journal of Applied and Advanced Research [en línea]. 2016. [Fecha de Consulta: 5 de julio de 2022].

Disponible en: file:///C:/Users/Toshiba/Downloads/Bioremediation_of_heavy_metals_from_Distilleries_E.pdf

DEVANESAN, Sandhanasamy y ALSALHI, Mohamad. Effective removal of Cd²⁺, Zn²⁺ by immobilizing the non-absorbent active catalyst by packed bed column reactor for industrial wastewater treatment [en línea]. 2021. [Fecha de Consulta: 22 de octubre de 2021]

Disponible en: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0045653521006998?token=277C7E61D57F34053DBF12A26379BB5A2A191BDAB543C760AEB35C3F833ACD047CF14A170D159EB0AC900C8999E278A4&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712022333>

ISSN: 0045-6535

DIAZ, A. [et al]. Optimization of nickel and cobalt biosorption by native *Serratia marcescens* strains isolated from serpentine deposits using response surface methodology. *Environmental Monitoring and Assessment* [en línea]. 2022. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022]

Disponible

en:

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10661-022-09816-w.pdf>

ISSN: 0167-6369

ELAHI, Amina [et al]. Isolation, characterization, and multiple heavy metal-resistant and hexavalent chromium-reducing *Microbacterium testaceum* B-HS2 from tannery effluent. *Journal of King Saud University – Science* [en línea]. 2019. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible

en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1018364718318275?token=BC634061FA28F58D1A9CF70F6029CE6F07C659D9665D63CE4765283368655EC7D9473FCC2179AFDA22F519A032EB58F2&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712022703>

ISSN: 1018-3647

GARZÓN, Jennyfer; RODRÍGUEZ, Juan y HERNÁNDEZ, Catalina. Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Revista de Universidad y Salud*. [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en: <http://www.scielo.org.co/pdf/reus/v19n2/0124-7107-reus-19-02-00309.pdf>

GONZALEZ, Regina. Toxicology of Nickel. *Revinter* [en línea]. 2016. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible

en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=d511df41->

[9076-4b29-8cb3-9a8ab488316d%40redis](https://doi.org/10.1007/978-94-007-4883-1_6)

ISSN: 1984-3577

GOPI, Ballav [et al]. Isolation and characterization of a Cr(VI) reducing *Bacillus firmus* strain from industrial effluents. Polish journal of microbiology Revinter [en línea]. 2018. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19275047/>

GUERRERO, Deisy [et al]. Eficiencia en la reducción de Cromo por una bacteria silvestre en un tratamiento tipo Batch utilizando como sustrato agua residual del municipio de Pasto, Colombia. Revista Universidad y Salud [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en:

<https://revistas.udenar.edu.co/index.php/usalud/article/view/2791/pdf>

ISSN: 2389-7066

GUERRERO, Deysi [et al]. Molecular techniques for the assessment of Cr (VI) reduction by *Bacillus thuringiensis*. Universitas Scientiaru [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 10 de julio de 2022].

Disponible

en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=d55f619d-1997-4481-92f5-75bfe0681d85%40redis>

ISSN: 0122-7483

HAQUE, Manjurul [et al]. Biofilm Formation, Production of Matrix Compounds and Biosorption of Copper, Nickel and Lead by Different Bacterial Strains. Microbiol Front. [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible

en:

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8222582/pdf/fmicb-12-615113.pdf>

HOSEIN, Alidadi [et al]. The effect of heterotrophic sewage bacteria of Mashhad on the removal of mercury from fluorescent lamp used in Mashhad. Pizhūhish dar Bihdāsht-i Muḥīt [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=0b388170-1bd1-46bd-9328-121c1e5badf0%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsdoj.b4da386c954957a101a0bf7871d6cf&db=edsdoj>

ISSN: 2423-5202

HUANG, Fei [et al]. Heavy metal bioaccumulation and cation release by growing *Bacillus cereus* RC-1 under culture conditions. *Ecotoxicology & Environmental Safety* [en línea]. 2018. [Fecha de Consulta: 13 de Julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=0da83a4b-bc68-4e4f-84d0-a9e3b3242731%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=129207839&db=edo>

ISSN: 01476513

HUANG, Jiang, WANG, Jihong y JIA, Lan. Removal of zinc(II) from livestock and poultry sewage by a zinc(II) resistant bacteria. *Scientific reports* [en línea]. 2020. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/346627915_Removal_of_zincII_from_livestock_and_poultry_sewage_by_a_zincII_resistant_bacteria

IGIRI, Bernard [et al]. Toxicity and Bioremediation of Heavy Metals Contaminated Ecosystem from Tannery Wastewater: A Review. [en línea]. 2018. [Fecha de

Consulta: 25 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://downloads.hindawi.com/journals/jt/2018/2568038.pdf>

JIM, Binhui. [et al]. Microbial flocculant produced by a novel *Paenibacillus* sp., strain A9, using food processing wastewater to replace fermentation medium and its application for the removal of Pb(II) from aqueous solution. *Revista Adsorption Science & Technology* [en línea]. 2019. [Fecha deConsulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=cfcf57e6-a0a9-46ab-975e-12ca44fd6476%40redis>

JOHN, Rinaldo [et al]. *Pseudomonas putida* APRRJVITS11 as a potent tool in chromium (VI) removal from effluent wastewater. *Preparative Biochemistry & Biotechnology*[en línea]. 2022. [Fecha deConsulta: 11 de julio de 2022].

Disponible en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=3c0777ef-a110-462d-bf16-8ddec74450a1%40redis&bdata=JmxhbmMc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=155030634&db=iih>

ISSN: 1082-6068

LINLIN, Xu [et al]. *Thiobacillus Acidophilus* Removes Lead and Copper From Wastewater Containing Low Concentration of Heavy Metals. *IOP Conference Series. Earth and Environmental Science* [en línea]. 2021. [Fecha deConsulta: 11 de junio de 2022].

Disponible en:

<https://www.proquest.com/docview/2528492484/BD2993B51E1447FEPQ/1?acountid=37408>

LI, Peng-Song; TAO y Hu-Chun. Cell surface engineering of microorganisms

towards adsorption of heavy metals [en línea]. 2015. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en: https://www.researchgate.net/profile/Huchun-Tao-2/publication/255691501_Cell_surface_engineering_of_microorganisms_towards_adsorption_of_heavy_metals/links/55ee4b4f08ae199d47beee32/Cell-surface-engineering-of-microorganisms-towards-adsorption-of-heavy-metals.pdf

ISSN: 1549-7828

KASYAD, S [et al]. Biosorption efficiency of nickel by various endophytic bacterial strains for removal of nickel from electroplating industry effluents: an operational study. *Ecotoxicology* [en línea]. 2022. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=cb44ed67-6ded-46d4-923e-40aab6f216c5%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=34184169&db=cmedm>

KOSTADINKA, Todorova [et al]. Novel composite biosorbent from *Bacillus cereus* for heavy metals removal from aqueous solutions. *Biotechnology & Biotechnological Equipment* [en línea]. 2019. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en: <https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=d5bbeacc-a148-45ba-a0c7-eb170ef17a7a%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsdoj.f082b8d2076d4a4997d28c9ef274bad6&db=edsdoj>

MANISHA, Nanda y VINOD, Kumar. Implications of bacterial multi-metal tolerance for mitigation of heavy metal pollutants from wastewater [en línea]. 2021. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en: <https://www.proquest.com/docview/2580656523/73DE6D95B24F4E2FPQ/1?acc>

[o untid=37408](#)

ISSN: 2321- 3663

MERVAT, Abbas [et al]. Mixed culture of *Lactococcus lactis* and *Kluyveromyces marxianus* isolated from kéfir grains for pollutants load removal from jebel chakir leachate. *Water environment research: a research publication of the Water Environment federation*. [en línea]. 2020. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=bc5111a7-e71f-47c3-97c2-04e605bc6c6c%40redis+>

ISSN: 1229-8093

MOHAMMAD, Rezvani [et al]. Assessing the concentration and potential health risk of selected heavy metals (lead, nickel, chromium, arsenic and cadmium) in widely consumed vegetables in Kashan, Iran. *Health & the Environment Journal* [en línea]. 2020. Fecha de Consulta: 27 de junio de 2022].

Disponible

en:

https://www.researchgate.net/publication/353556349_Assessing_the_concentration_and_potential_health_risk_of_selected_heavy_metals_lead_nickel_chromium_arsenic_and_cadmium_in_widely_consumed_vegetables_in_Kashan_Iran

MUHAMMAD, Tariq [et al]. Isolation and molecular characterization of the indigenous *Staphylococcus aureus* strain K1 with the ability to reduce hexavalent chromium for its application in bioremediation of metal-contaminated sites. *PeerJ* [en línea]. 2029. Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible

en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=5cf34e61-77d4-4158-adb2-e454b888f789%40redis&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGI2ZQ%3d%3d#AN=edsgcl.602347256&db=edsgih>

ISSN: 2167-8359

MORA, Alexander. Bacillus sp. G3 un microorganismo promisorio en la biorremediación de aguas industriales contaminadas con cromo hexavalente. Nova Scientia. [en línea]. 2016. Fecha de Consulta: 22 de mayo de 2022].

Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/310836075_Bacillus_sp_G3_un_microorganismo_promisorio_en_la_biorremediacion_de_aguas_industriales_contaminadas_con_cromo_hexavalente

ISSN 2007-0705

MORA, Alexander y BRAVO, Enrique. Aislamiento de microorganismos electrogénicos con potencial para reducir cromo hexavalente. Acta Biológica Colombiana [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 23 de mayo de 2022].

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=319050490003>

ISSN: 0120-548X

MORENO, Jennnifer[et al]. Reducing Cr6+ in electroplating wastewater with Bacillus cereus strain B1. Universitas Scientiarum [en línea]. 2019. [Fecha de Consulta: 23 de mayo de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=dc717d11-9474-4482-a31c-b520dd602f91%40redis>

NAGUIB, Martha [et al]. Isolation and characterization of mercury-resistant bacteria from wastewater sources in Egypt. Canadian journal of microbiology. [en línea]. 2019. [Fecha de Consulta: 28 de mayo de 2022].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=9704c7b6-192e-4351-98be-ccf36d09cdcf%40redis>

ISSN: 0008-4166

NASKAR, Animesh [et al]. Adsorption of nickel onto Bacillus cereus M¹₁₆: A mechanistic approach. Separation Science and Technology (Philadelphia) [en línea]. 2016. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en: https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84960440154&origin=inward&txGid=38310231c02ccfe408db0180bae84f92&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

ORGANISMO DE EVALUACIÓN Y FISCALIZACIÓN AMBIENTAL.
Fiscalización en Aguas Residuales. [en línea] 2014. p. 42. [Fecha de consulta:
20 de octubre de 2021].

Disponible en: https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827

PÉREZ, Lizandra [et al]. Biosorción de zinc y cadmio por bacterias inactivadas pretratadas. Minería & Geología. [en línea], 2021. [Fecha de Consulta: 27 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://www.redalyc.org/journal/2235/223566343006/223566343006.pdf>

ISSN: 1993-8012

PRACHI, Chaudhary. In vitro microcosm of co-cultured bacteria for the removal of hexavalent Cr and tannic acid: A mechanistic approach to study the impact of operational parameters. Ecotoxicology and Environmental Safety [en línea], 2021. [Fecha de Consulta: 8 de junio de 2022].

Disponible en:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S014765132031321X?token=11D6266DF7C8485E4613B84AED285FA88A9A7BCFB6390B8B0A3A82116285C9509A822B7CAB354F2AC1569A9FA4C94DBD&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712153942>

RAMAN, N [et al]. Bioremediation of chromium(VI) by *Stenotrophomonas maltophilia* isolated from tannery effluent. Revista Springer [en línea]. 2017. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-017-1378-z>

REYES, Yulieth [et al]. Contaminación por metales pesados Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria. Revista ingeniería, Investigación y

Desarrollo. [en línea], 2016. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6096110>

ISSN: 900-771X

SHARMA, Pooja [et al]. Newly isolated Bacillus sp. PS-6 assisted phytoremediation of heavy metals using Phragmites communis: Potential application in wastewater treatment. Bioresource Technology [en línea]. 2021. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0960852420316278?token=2438FCFBE3D788EF52C97001EAB4A73AEAF4C0D0C40D066C8D260927546F72F3CE402A2232AEFE285AF688AABE61A99&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712160839>

SHARMA, Rohit [et al]. An insight into the mechanism of 'symbiotic-bioremoval' of heavy metal ions from synthetic and industrial samples using bacterial consortium. In Environmental Technology & Innovation [en línea]. 2021. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=bceb3e1b-acbb-4c39-93e8-fb22cd49acae%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=S2352186420316023&db=edselp>

ISSN: 2352-1864

SAMAKSHI, Verma y ARINDAM, Kuila. Bioremediation of heavy metals by microbial process. Environmental Technology & Innovation [en línea]. 2019. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S2352186418305911?token=170B834012C06C7C43D76535358FE92FB1A06D2CDC33C9835F5ABBC7059CC65EF>

[B01755944C391AEE40213D85DA73510&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712161408](https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=84cefc57-c828-4efd-9ac0-8ea5730e4aed%40redis&bdata=Jmxbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsdoj.2fb0f8c1730e494a921e5dee950ff123&db=edsdoj)

SANAZ, Abbasi [et al]. Isolation and Identification of Cadmium and Lead Resistant Bacteria and their Bacterial Removal from Wastewater. Revista Water and Wastewater Consulting Engineers Research Development [en línea]. 2027. [Fecha de Consulta: 13 de Julio de 2022].

Disponible en:
<https://eds.s.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=84cefc57-c828-4efd-9ac0-8ea5730e4aed%40redis&bdata=Jmxbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsdoj.2fb0f8c1730e494a921e5dee950ff123&db=edsdoj>

SHER, Shahid [et al]. Multiple resistance mechanisms in *Staphylococcus sp.* strain AS6 under arsenite stress and its potential use in amelioration of wastewater. Journal of King Saud University – Science [en línea]. 2020. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1018364720302512?token=93781D9ADE3C9659B000E5DD1A9F12BD120ADD12CF7BB896248C0D474C04A9D8200BB697CCAEEB9FEFBE5576D184C858&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712161651>

ISSN: 1018-3647

SAHMOUNE, Mohamed. Performance of *Streptomyces rimosus* biomass in biosorption of heavy metals from aqueous solutions. Microchemical Journal [en línea]. 2018. [Fecha de Consulta: 15 de noviembre de 2021].

Disponible en:
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0026265X18305228?token=872C34939D90CFB268B5C798A02D3BD085315FBFFD76C31DF1B1ABC8D69A4F84CACA8435F67639AEEE777702A1ECF456&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712161651>

[1&originCreation=20220712162617](#)

ISSN: 0026-265X

SAKET, Kashyap [et al]. Biosorption efficiency of nickel by various endophytic bacterial strains for removal of nickel from electroplating industry effluents: an operational study. *Revista ecotoxicology* [en línea]. 2022. [Fecha de Consulta: 13 de julio de 2022].

Disponible

en:

<https://www.proquest.com/docview/2660199697/68E58214F32848DFPQ/18?acountid=37408>

ISSN: 09639292

SOTO, Eliana [et al]. Remoción de cromo hexavalente de aguas residuales con microorganismos adaptados a medios ricos en cromo. *Revista de la Asociación Colombiana de Ciencias Biológicas* [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 12 de junio de 2022].

Disponible

en:

https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/94110/CONICET_Digital_Nro.9_06bdd24-3df7-4ae6-b823-740edeade84_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

SEGARADAM, Abhilasha. [et al]. Bioremediation of hexavalent chromium from wastewater using bacteria-a green technology. *Revista springer* [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 13 de junio de 2022].

Disponible

en:

<https://eds.s.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=d794d271-ff34-4506-9c2f-2acd95e31de5%40redis>

SIM, Carrie [et al]. Metal Biosorption in Single- and Multi-Metal Solutions by Biosorbents: Indicators of Efficacy in Natural Wastewater. *Revista Clean: soil, air, wáter* [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2022].

Disponible

en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=fd835d96-dd95-4a77->

[a170-](#)

[5d23bb95b1ec%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=120688970&db=edb](#)

SURESH, Gopal [et al]. Bioremediation of hexavalent chromium-contaminated wastewater by *Bacillus thuringiensis* and *Staphylococcus capitis* isolated from tannery sediment. *Biomass Conversion & Biorefinery* [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 12 de julio de 2022].

Disponible

en:

<https://eds.p.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=66249516-2ede-4eb4-957d-f441b0493502%40redis&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=149310498&db=edb>

ISSN: 21906815

UNESCO. Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos: aguas residuales el recurso desaprovechado [en línea]. 2017. [Fecha de consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible en: <https://aneas.com.mx/wp-content/uploads/2020/03/2017-Informe-mund.pdf>

ISBN 978-92-3-300058-2

U., Utami [et al]. Lead-resistant bacteria isolated from oil wastewater sample for bioremediation of lead. *Water Science & Technology* [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 21 de junio de 2022].

Disponible en : <https://iwaponline.com/wst/article/81/10/2244/74700/Lead-resistant-bacteria-isolated-from-oil>

VELEZ, Juan [et al]. Hexavalent chromium-reducing bacteria on biosolids from the San Fernando Wastewater Treatment Plant in Medellín (Colombia). *Revista*

Comombiana Biotecnología [en línea]. 2021. [Fecha de consulta: 5 de julio de 2022].

Disponible en : <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/8046428.pdf>

WAHID, Haamod [et al]. The removal of arsenic species from aqueous solution by indigenous microbes: Batch bioadsorption and artificial neural network model. Environmental Technology & Innovation [en línea]. 2020. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2021].

Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352186419309228>

ISSN: 2352-1864

WANG, Xiaonan [et al]. Remediación de múltiples vías de la contaminación por mercurio mediante una versátil bacteria reductora de selenito. Ciencia del Medio Ambiente Total. [en línea]. 2018. [Fecha de consulta: 27 de octubre de 2021].

Disponible en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0048969717326852?token=E074F248C968A338484C3375F74AF3C0A089BC675B1775BDEA37C49E28E3D89A7749C80C8310393858CA5133D7AB546B&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712165733>

ISSN: 0048-9697

ZHAO, Ran [et al]. Bioremediation of hexavalent chromium pollution by *Sporosarcina saromensis* M52 isolated from offshore sediments in Xiamen, China. Biomedical and Environmental Sciences [en línea]. 2016. [Fecha de Consulta: 17 de noviembre de 2021].

Disponible en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0895398816300241?token=856C6F023C241061EC99CFDC6B0399908A04BFFD9484E3A76E88CEE2B8EFEB8C53DEE65A088CBC291ED184D4F9FAE70F&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712165931>

ZHAO, Meng [et al]. Bioremediation of wastewater containing mercury using threenewly isolated bacterial strains. Journal of Cleaner Production [en línea].

2021. Vol,

299. [Fecha de Consulta: 23 de octubre de 2021].

Disponible

en:

<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0304389421008761?token=1C62ADE2DF9DBF1D2D95CC8BD4D757B1ED822727E3DB2BF12F099D59630F5BFC07DE11FF587C27EDACCA7B1F9E57C639&originRegion=us-east-1&originCreation=20220712170222>

ISSN: 0304-3894.

ANEXOS

Anexo N° 01: Matriz de Categorización.

Ámbito temático	Problema de Investigación	Pregunta de Investigación	Objetivo General	Objetivos Específicos	Categorías	Subcategorías
Evaluación del uso de bacterias para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales.	¿Cuál es el nivel de eficiencia que presentan el uso de bacterias para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales según las evidencias encontradas en la base de datos?	¿Cuál es la eficiencia de la remoción de metales pesados en aguas residuales utilizando distintos tipos de bacterias?	Evaluar la eficiencia del uso de bacterias para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales.	Evaluar la eficiencia en la remoción de metales pesados en aguas residuales según el tipo de bacteria	Bacterias	Aeróbicas
		¿Cuáles son las mejores condiciones de remoción de metales pesados en aguas residuales usando bacterias?				Condiciones físicas
				Condiciones químicas	pH	
	Temperatura					
	Tiempo					
	Evaluar la efectividad de remoción de metales pesados usando bacterias según el tipo de agua residual.				Condiciones químicas	Velocidad de agitación
				Curtiembre		Medio de cultivo
		Galvanoplastia				Concentración de microorganismos
	Industrial				% de Remoción	
Municipal						

Fuente: Elaboración Propia.

Anexo N° 02: Recolección de datos (experimental puro)

Autor	tipo de aguas residuales	Tipo de bacteria	Especie	metal evaluado				técnica utilizada	Temperatura (°C)	pH	velocidad de agitación (rpm)	concentración inicial (ppm)	Porcentaje de remoción (%)	Tiempo (hr)
				Cr	Hg	Ni	Pb							
Guerrero et al.	Curtiembre	Aeróbico	Bacilo turingiense	x				Reducción	20	–	–	59	99.42	156
Moreno et al.	Galvanoplastia	Facultativas	Bacillus cereus	x				Reducción	30	7.5	125	5	75.6	120
Naguib et al.	Municipal	Aeróbico	Estenotrofomona maltophilia		x			Aislamiento	37	–	160	20	99.9	72
		Aeróbico	Pseudomona stutzeri		x								98.94	
		Aeróbico	Pseudomona otitidis		x								95.96	
Prachi et al.	Curtiembre	Aeróbico	Bacillus subtilis	x				Biorremediación	30	5	110	200	88	96
		Facultativas	Bacillus safensis	x									91	
Linlin et al.	Galvanoplastia	Aeróbico	Thiobacillus acidophilus				x	Biorremediación	30	2.5	130	10	74.69	60
Abuzar et al.	Industrial	Facultativas	Klebsiella variicola			x		Adsorción	37	–	100	50	50.49	24

Soto et al.	Curtiembre	Facultativas	klebsiella sp.	x				Remoción	35	_	150	123.58	100	30	
		Aeróbico	Raoultella sp	x											
		Facultativas	Serratia sp.	x											
mora et al.	Galvanoplastia	Facultativas	Bacillus cereus	x				Biorremediación	28	6.5	_	10	100	34	
Utami et al.	Industrial	Facultativas	Bacilo cereus				x	Aislamiento	37	_	150	_	54.54	48	

Debajit et al.	Industrial	Facultativas	Pseudomonas sp.				x	Biorremediación	37	-	120	-	65	24
Deborah et al.	Industrial	Facultativas	Escherichia coli	X				Biorremediación	121	7	-	2.58	51	360
					x							0.002	100	
						x						0.12	67	
							x					0.39	51	
				Aeróbico	Bacillus subtilis	X								

					x							0.002	100	
						x						0.12	83	
							x					0.39	59	

		Facultativas	Bacillus cereus	X									100	
Ramirez et al.	Industrial	Facultativas	Photobacterium damsela				x	Remoción	25	4.5-6.5	–	20	69	96
Zhao et al.	Industriales	Aerobico	Pseudomonas cremoricolorata		x			Biorremediación	30	8	150	10	86	24
		Aerobico	Pseudomonas caricapapayae		x								85	
		Facultativas	Brevundimonas		x								55	

Fuente: Elaboración propia.



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

Declaratoria de Autenticidad del Asesor

Yo, CRUZ MONZON JOSE ALFREDO, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - TRUJILLO, asesor de Tesis titulada: "Evaluación del uso de bacterias para el tratamiento de metales pesados en aguas residuales.", cuyo autor es AGUILAR HARO KATERINE PATRICIA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 16.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

TRUJILLO, 26 de Junio del 2022

Apellidos y Nombres del Asesor:	Firma
CRUZ MONZON JOSE ALFREDO DNI: 18887838 ORCID: 0000-0001-9146-7615	Firmado electrónicamente por: JACRUZM el 18-07- 2022 20:02:09

Código documento Trilce: TRI - 0311588