



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERIA

Carrera de Ingeniería de Minas

“REMEDIACIÓN DE AGUAS RESIDUALES
PRODUCTO DE LA MINERÍA SUBTERRÁNEA.
UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA ENTRE LOS AÑOS
2010 – 2020”.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autores:

Maicol Davis Asuncion Alvarado
Angelo Franco Rosas Alegre

Asesor:

Mg. Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado

Trujillo – Perú

2020

DEDICATORIA

Agradecer a Dios, por acompañarnos y ayudarnos durante toda nuestra carrera y a todas esas personas que de una u otra forma nos orientaron y apoyaron a lo largo del camino. A nuestros padres por estar allí compartiendo nuestro entusiasmo en los momentos de felicidad y brindarnos su soporte y colaboración en los momentos difíciles. A nuestros queridos hermanos, que ha estado en los momentos más difíciles y nos han servido de apoyo incondicional, brindándonos todo su aprecio y consideración.

Maicol Davis Asunción Alvarado

Angelo Franco Rosas Alegre

AGRADECIMIENTO

Gracias a Dios, por darnos la vida, por iluminarnos en nuestro camino y dado la salud y fortaleza para vencer todos los obstáculos permitiéndonos aprender de nuestros errores. Nuestro más sincero agradecimiento al Ing. Wilson Carlos Gómez Hurtado, por su asesoramiento en la ejecución de la Revisión Sistemática y así mismo, a la plana docente de la Universidad Privada del Norte que gracias a sus enseñanzas hicieron posible nuestra formación profesional.

Maicol Davis Asunción Alvarado

Angelo Franco Rosas Alegre

TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO.....	3
INDICE DE TABLAS	5
RESUMEN	6
CAPITULO I. INTRODUCCIÓN.....	7
CAPITULO II. METODOLOGIA.....	11
CAPITULO III. RESULTADOS.....	17
CAPITULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES	26
CONCLUSIONES	28
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	29

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de base de datos.....	14
Tabla 2. Matriz de registro de información.....	17
Tabla 3. Numero de publicaciones por tipo de documento.....	19
Tabla 4. Distribución de publicaciones por año.....	20
Tabla 5. Distribución de publicaciones por institución científica.....	20
Tabla 6. Distribución de publicaciones por categorías	21
Tabla 7. Distribución de publicaciones por categorías	22

RESUMEN

La presente Revisión sistemática, opto como objetivo conocer los métodos de la remediación de aguas residuales producidas por la minería subterránea y la pregunta de la investigación diseñada para esta revisión fue: ¿Cuáles son los métodos de la remediación de aguas residuales producidas por la minería subterránea?. Es por ello que esta revision facilitará conocer los metodos de la remediacion adecuada de aguas residuales para reducir el impacto en la actividad minera.

Para la recolección de información de esta revision sitematica, se empleó diversas fuentes confiables de investigaciones tales como: Dialnet, Scielo, Readalyc y repositorios digitales nacionales e internacionales. A si mismo, se desarrollaron varias metodologías para obtener información valiosa, siendo una de ellas, la Matriz de búsqueda de artículos de investigación (MBI) con la finalidad de recopilar y ordenar la información de investigaciones importantes que tenagan relación con el tema a desarrollar teniendo en cuenta el tiempo e idioma ya sea en español, ingles ,alemán, portugués, entre otros, siempre y cuando cumplan con el intervalo del tiempo de publicación, comprendido entre los años 2010 – 2020 y con la posibilidad de que las investigaciones puedan ser traducidas al idioma español.

PALABRAS CLAVES: Remediacion, aguas residuales, mineria subterranea, métodos de remediacion.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

En la actualidad existe una relación directa y compleja entre el agua y la actividad minera, específicamente con la minería metálica ya que esta necesita grandes proporciones de agua para obtener los minerales esperados. El líquido utilizado en los procesos puede ser reutilizada, tratada o desembocado sin proceso de tratamiento alguno. En nuestra investigación afirmamos que los metales pesados tales como el plomo (Pb), fierro (Fe), cobre (Cu), cinc (Zn), arsénico, cromo (Cr), cadmio (Cd), entre otros productos de reacción empleados en las plantas de tratamiento de material mineralógico, en poca antelación no se degradan, biológica ni químicamente en la naturaleza, es por esta manera en que son altamente nocivos y perjudicial para la gran parte de organismos (Moreno, García, León, y Arévalo, 2012). De esta manera nace la necesidad de crear métodos de remediación tales como, tratamiento microbiano, fitorremediación con bacterias, neutralización de aguas acidas, entre otros. El tratamiento de las aguas residuales o también conocido como purificación de aguas residuales consiste poner en función procesos físicos, químicos o biológicos para eliminar los contaminantes, con la finalidad de crear efluentes no perjudiciales para el medio ambiente.

La remediación también conocida como tratamiento son un sin número de procedimientos y estudios que buscan recuperar o remediar las propiedades para reducir la presencia de agentes contaminantes en el medio ambiente. Por ende, el hombre busca recuperar las propiedades iniciales del ecosistema para el bienestar de toda la población en el tema de la salubridad, así como, la protección de general del medio ambiente. Existen diversos métodos de remediación que ayudan a disminuir los contaminantes y así alcanzar una cantidad mínima de contaminación la cual es ideal para garantizar la salubridad de las personas que tienen el peligro de contraer enfermedades

o daños al medio ambiente. Actualmente en el mundo se dispone de una gran variedad de métodos como la biorremediación, que se da por hongos y bacterias; la fitorremediación, que se da por plantas transgénicas y la ficorremediación, que se dan por plantas vasculares y algas (Paisio, Gonzales, Talano y Agostini, 2012). Además hoy en día también existen diversos métodos no convencionales de remediación de bajo costo que ayudan a disminuir contaminantes como metales pesados presentes en el agua o en los suelos, en los cuales se usan materias vegetales vivas o materia inorgánica inerte que muchos de nosotros las deseamos sin saber las propiedades que pueden ayudar a remediar partes contaminadas del suelo así como el agua (Palacios, 2014).

Las aguas residuales son aquellas cuyas propiedades originales son alteradas por la actividad del ser humano y que dada la importancia de este elemento requiere un tratamiento previo para verificar la calidad en la que se encuentra, antes de ser reutilizado, volcados a un cuerpo natural de agua o descargados al sistema de alcantarillado, OEFA. Así mismo estas se clasifican de la siguiente manera: aguas residuales industriales, es aquí en donde se encuentra el sector minero, agrícola, energético, agroindustrial, entre otros, el cual básicamente hace uso o manipulación del agua para la obtención o procesamiento de sus productos. A veces dichas industrias no emiten vertidos de forma continua sino que suelen hacerlo en horas del día o incluso en la noche dependiendo del tipo de producción y del proceso industrial. Las aguas residuales domésticas, son producto de las actividades realizadas de un hogar, tales como: detergentes, jabones, grasas, entre otros y por último las aguas residuales municipales, las cuales tratan de una mezcla entre los residuos domésticos y aguas de drenaje pluvial. El Perú genera aproximadamente 2,217,946 m³ por día de aguas residuales y solo el 32% de estas recibe un tratamiento, otro dato importante es que cada habitante genera 142 litros de aguas residuales al día y según dicen los estudios para el

2024 el Perú generaría el doble de lo que hoy genera en cuanto a las aguas residuales (Generación y tratamiento de aguas residuales por las EPS saneamiento a nivel nacional ,2012).

La remediación es el proceso que busca recuperar o remediar las propiedades para reducir la presencia de agentes contaminantes en el medio ambiente mediante métodos tales como la fitorremediación, biorremediación, y métodos no convencionales en los cuales se usan materias vegetales vivas o materia inorgánica inerte, mientras el tratamiento de agua se define al conjunto de procesos asignados a variar las propiedades física, química y biológica de forma que permitan convertir el agua contaminada en agua potable o para volver a reutilizarse en la industria que la requiera, existiendo dos sistemas de tratamiento, activo y pasivo. Por lo tanto la finalidad de esta revisión sistemática es encontrar información sobre la remediación de aguas residuales producto de la minería subterránea realizada en los años 2010-2020. Esta revisión se basa en artículos científicos que se han logrado obtener mediante una búsqueda ferviente en repositorios y bases confiables de información. Conforme a lo mencionado con anterioridad la finalidad de esta revisión sistemática es dar a conocer los métodos de la remediación de aguas residuales producidas por la minería subterránea en la última década. Esta revisión se basa, en información de tesis, artículos y revistas de proyectos de investigación con datos científicos que han llegado a comprobarse y a ser publicadas a lo largo de los años.

El agua esencial para la vida, no solo porque las personas la requieren para hidratarse sino que también es de suma importancia para la agricultura, ganadería e incluso para el aseo de uno mismo, por ende el tratamiento de las aguas tanto como ríos, lagos, océanos así como también las aguas residuales; se han vuelto un tema primordial para toda la población tanto aledaña como lejana a ello. Lo más escuchado hoy en día es sobre las aguas residuales de minería tanto como

superficial y subterránea o como gran, artesanal y/o pequeña minera son fuentes latentes en el tema de la contaminación de aguas por ello muchos pobladores aledaños a las mineras se ven con la necesidad de reclamar por el miedo a ser afectados por las aguas residuales. Por ello, esta revisión facilitará conocer los métodos de la remediación adecuada de aguas residuales para disminuir el impacto en la actividad minera subterránea como al igual en minería superficial con la finalidad de tener una buena relación con las personas cercanas a las unidades mineras.

CAPÍTULO II. METODOLOGIA

En el presente trabajo de investigación sistemática se utiliza la metodología de análisis y síntesis para identificar, evaluar y sintetizar la información existente de investigadores. También, se utiliza la metodología de revisión sistemática; en ello se busca identificar el tema a tratar y sintetizar la información de manera ordenada, rescatando lo más relevante. La pregunta de la investigación diseñada para esta revisión fue: ¿Cuáles son los métodos de la remediación de aguas residuales producidas por la minería subterránea?

Para la elaboración de esta investigación se desarrollaron varias metodologías para poder adquirir la información más importante, para ello se hicieron técnicas de elección de conceptos haciendo uso de la Matriz de Líneas de investigación relacionada a la carrera de Ingeniería de Minas. Además, se ha desarrollado la Matriz de Búsqueda de Artículos de Investigación (MBI), la cual sirvió para recopilar y ordenar información de artículos e investigación en fuentes confiables que tengan relación con el tema para luego realizar una selección de estudios idóneos para la redacción del presente estudio. Así mismo, para esta selección de información se tuvo en cuenta los criterios de tiempo e idioma los cuales consiste en buscar información de diversos idiomas, ya sea, en inglés español, portugués, alemán, entre otros; siempre y cuando tengan en común el tiempo de publicación del año 2010 al 2020 y la posibilidad de traducción al idioma español.

Posteriormente, se muestran las rutas específicas de búsqueda que sirvieron para adquirir la información y se describen en breve.

- **Repositorio de universidades nacionales**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos - Lima, Perú.

Universidad Nacional Federico Villarreal - Lima, Perú.

Universidad Nacional de San Agustín – Arequipa, Perú

Universidad Peruana Cayetano Heredia - Lima, Perú.

- **Repositorio de universidades internacionales**

Universidad de Sonora – Sonora, México.

Universidad Técnica Cotopaxi - Latacunga, Ecuador

Universidad de Buenos Aires – Buenos Aires, Argentina

Pontificia Universidad Católica de Argentina – Buenos Aires, Argentina

- Google académico
- Redalyc
- Scielo
- Dialnet

Para avalar la eficacia de búsqueda y recolección de información se insertaron los siguientes términos: “Métodos de remediación en aguas residuales en la industria minera”, “Tratamiento de agua más minería”, “Tipos, clasificaciones AND métodos de remediación de aguas”, “Métodos de tratamiento de agua”, “Impactos ambientales producto de la minería”, “Reducción de metales pesados + minería”, “Nuevas tecnologías para el tratamiento de agua producto de la flotación” y “Nuevas tecnologías para el tratamiento y remediación de aguas en minería”. Asimismo, se efectuó búsquedas en inglés “water treatment in mining activity” y “mining water remediation”.

Para esta revisión sistemática se usó información científica, artículos de investigación, tesis nacionales e internacionales respondiendo de manera oportuna la pregunta. Asimismo, se hizo una búsqueda intensiva para poder dar con la información, también resaltar que las indagaciones fueron de publicaciones no mayor de 10 años de antigüedad comprendido entre los años 2010 – 2020.

En la búsqueda de publicaciones científicas se encontró: en el repositorio de la Universidad Nacional de Trujillo se encontró 1 publicación , en el repositorio de la Universidad Privada del Norte se encontró 2 publicaciones, en el repositorio de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos se encontró 4 publicaciones, en el repositorio de la Universidad Nacional Federico Villarreal se encontró 2 publicaciones, en el repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín se encontró 3 publicaciones, en el repositorio de la Universidad Peruana Cayetano Heredia se encontró 3 publicaciones, en el repositorio de la Universidad Nacional Autónoma de México se encontraron 1 publicación, en el repositorio de la Universidad Nacional de Callao se encontró 1 publicación, en el repositorio de la Universidad Técnica Cotopaxi se encontró 2 publicaciones, en Google Académico se encontraron 11 publicaciones, en Scielo se encontraron 2 publicaciones, en Redalyc se encontraron 6 publicaciones y en Dialnet se encontró 2 publicaciones; habiendo un total de 40 investigaciones; de las cuales se descartaron: 10 publicaciones por sobrepasar la antigüedad de años comprendidos de 2010 -2020, 4 publicaciones por repetición de información, 4 publicaciones por no responder la pregunta de la investigación, 1 publicación por estar en idioma chino; quedándonos con 21 investigaciones que cumplen los criterios de aceptación.

Tabla 1

Matriz de base de datos

Título	País	Base de datos	Autor	Año
Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la sierra central.	Perú	Repositorio UNFV	Alcántara Malca Aldolfo	2020
Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico	Perú	Scielo	Oswaldo Aduvire	2019
Evaluación del funcionamiento de un biorreactor pasivo utilizando bacterias sulfato-reductoras para el tratamiento de drenajes ácidos de mina	Perú	Repositorio UNSA	Palma Huillca Greys	2018
Sistema de eliminación de metales pesados en aguas mediante microalgas	España	Google Académico	Francisco Acien Fernández, José Fernández Sevilla, Emilio Molina Grima, Cintia Gómez Serrano	2017
Estudio de bacterias acidófilas ferroxidantes presentes en mineral magnetita de Toquepala, concentrado de piritita de poracota y agua de mina de cobre de Quiruvilca	Perú	Repositorio UPCH	Betsabé Román León	2017
Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector chuina, morales-san martín-2015.	Perú	Google Académico	Ana Ruiz Martínez, , Marilin Coronado Coronel	2016
Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente	Ecuador	Google Académico	Luisa vera, María Uguña, Nancy García, Maritza Flores, Verónica Vázquez	2016
Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión	Colombia	Google Académico	Mayra Beltrán Pineda, Alida Gómez Rodríguez	2016
Evaluación de los mecanismos de eliminación de Pb ²⁺ en sistemas de fitorremediación en lotes operados	Argentina	Repositorio UCA	Lucas Salvatierra, Leonardo	2015

con <i>Salvinia biloba raddi</i> (acordeón de agua)			Perez, W. Tello	
Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico	Colombia	Redalyc	Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz, Luz Garcés Jaraba	2015
Aplicación de rizobacterias en la biorremediación del cromo hexavalente presente en aguas residuales	Cuba	Google Académico	Irina Salgado Bernal, Jorge Pérez Ortega, María Carballo Valdés, Armando Martínez Sardiñas, Mario Cruz Arias	2015
Determinación del nivel de filtración que tiene la cáscara de plátano, para reducir metales pesados presentes en agua residual en la empresa Weatherford, Cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, periodo 2014.	Ecuador	Repositorio UTC	Adrián Palacios Redroban	2014
Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)	México	Redalyc	Anahí Cardona Gutiérrez, Dulce Cabañas Vargas, Alejandro Zepeda Pedreguera, Cintia Paisio, Paola	2013
Remediación biológica de mercurio: recientes avances	Argentina	Google Académico	González, Melina Talano Y Elizabeth Agostini	2012
Desarrollo de membranas de quitosano y diseño de un equipo para la eliminación de metales pesados del agua	España	Dialnet	Jesús Mora Molina, Luis Chaves Barquero, Mario Araya Marchena, Ricardo Starbird Pérez	2012
Estudio de la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados mediante bioadsorbentes de moringa oleífera	España	Google Académico	Beatriz García Fayos, José Arnal Arnal, Sdenka Alandia	2012

Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados	Argentina	Repositorio UBA	María del Mar Areco	2011
Estudio de biosorción de metales pesados de un efluente de origen antropogénico utilizando Escherichia coli	México	Repositorio UNISON	Luis Platt Sánchez	2011
Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita	Perú	Repositorio UNMSM	Alfonso Romero, Silvana Flores Y Walter Arévalo	2010
Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación	Cuba	Redalyc	Jeannette Marrero Coto, Arellys Díaz Valdivia, Orquídea Coto Pérez	2010
Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso.	España	Google Académico	Marta Izquierdo Sanchis	2010

Fuente: *Elaboración propia*

En las investigaciones (revistas, tesis, artículos) revisadas se hallaron diferentes aceptaciones sobre la remediación de aguas residuales producidas por la minería en base métodos aplicados como biológicos, físicos y químicos.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Al elaborar la planificación de la revisión sistemática explicada en la sección anterior, se alcanzó un total de 21 investigaciones en los resultados de búsqueda de información. Sobre estas informaciones científicas se extrajo el año de publicación, base de datos en donde se publicó y del diseño de investigación utilizada.

Tabla 2
Matriz de registro de información

Nº	Base de datos	Autor/es	Año	Título de investigación
1	Repositorio UNFV	Alcántara Malca Aldolfo	2020	Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la sierra central.
2	Scielo	Osvaldo Aduvire	2019	Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas ácidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico
3	Repositorio UNSA	Palma Huillca Greys	2018	Evaluación del funcionamiento de un biorreactor pasivo utilizando bacterias sulfato-reductoras para el tratamiento de drenajes ácidos de mina
4	Google Académico	Francisco Acien Fernández, José Fernández Sevilla, Emilio Molina Grima, Cintia Gómez Serrano	2017	Sistema de eliminación de metales pesados en aguas mediante microalgas
5	Repositorio UPCH	Betsabé Román León	2017	Estudio de bacterias acidófilas ferrooxidantes presentes en mineral magnetita de Toquepala, concentrado de pirita de poracota y agua de mina de cobre de Quiruvilca
6	Google Académico	Ana Ruiz Martínez, Marilyn Coronado Coronel	2016	Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector chuina, morales-san martín-2015.
7	Google Académico	Luisa vera, María Uguña, Nancy García, Maritza Flores, Verónica Vázquez	2016	Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente
8	Google Académico	Mayra Beltrán Pineda, Alida Gómez Rodríguez	2016	Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión

9	Repositorio UCA	Lucas Salvatierra, Leonardo Perez, W. Tello	2015	Evaluación de los mecanismos de eliminación de Pb ²⁺ en sistemas de fitorremediación en lotes operados con <i>Salvinia biloba raddi</i> (acordeón de agua)
10	Redalyc	Candelaria Tejada Tovar, Ángel Villabona Ortiz, Luz Garcés Jaraba	2015	Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico
11	Google Académico	Irina Salgado Bernal, Jorge Pérez Ortega, María Carballo Valdés, Armando Martínez Sardiñas, Mario Cruz Arias	2015	Aplicación de rizobacterias en la biorremediación del cromo hexavalente presente en aguas residuales
12	Repositorio UTC	Adrián Palacios Redroban	2014	Determinación del nivel de filtración que tiene la cáscara de plátano, para reducir metales pesados presentes en agua residual en la empresa Weatherford, Cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, periodo 2014.
13	Redalyc	Anahí Cardona Gutiérrez, Dulce Cabañas Vargas, Alejando Zepeda Pedreguera,	2013	Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II)
14	Google Académico	Cintia Paisio, Paola González, Melina Talano Y Elizabeth Agostini	2012	Remediación biológica de mercurio: recientes avances
15	Dialnet	Jesús Mora Molina, Luis Chaves Barquero, Mario Araya Marchena, Ricardo Starbird Pérez	2012	Desarrollo de membranas de quitosano y diseño de un equipo para la eliminación de metales pesados del agua
16	Google Académico	Beatriz García Fayos, José Arnal Arnal, Sdenka Alandia	2012	Estudio de la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados mediante bioadsorbentes de moringa oleífera
17	Repositorio UBA	María del Mar Areco	2011	Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados
18	Repositorio UNISON	Luis Platt Sánchez	2011	Estudio de biosorción de metales pesados de un efluente de origen antropogénico utilizando <i>Escherichia coli</i>
19	Repositorio UNMSM	Alfonso Romero, Silvana Flores Y Walter Arévalo	2010	Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita

20	Redalyc	Jeannette Marrero Coto, Arellys Díaz Valdivia, Orquídea Coto Pérez	2010	Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación
21	Google Académico	Marta Izquierdo Sanchis	2010	Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso.

Fuente: Elaboración propia

La tabla 2 nos muestra la matriz de registro de información que contiene 21 investigaciones seleccionadas de fuentes confiables que tenga relación con la conclusión, obtenida del análisis y síntesis de la información. De las cuales se recopiló datos como: Base de datos, autores, año de publicación y el nombre de la investigación.

Tabla 3

Número de publicaciones por tipo de documento

Tipo de documento	F	%
Artículo de revista	14	67
Tesis profesional	3	14
Tesis de maestría	1	5
Tesis doctoral	2	10
Tesis de licenciatura	1	5
Total	21	100

Fuente: Elaboración propia

La tabla 3 nos muestra que la mayor cantidad de publicaciones que sobre los conceptos en estudios se dan en artículos de revistas con un 67 % en comparación con las tesis profesionales (14 %) y tesis doctoral (10 %).

Tabla 4
Distribución de publicaciones por año

Años	F	%
2020	1	5
2019	1	5
2018	1	5
2017	2	10
2016	3	14
2015	3	14
2014	1	5
2013	1	5
2012	3	14
2011	2	10
2010	3	14
Total	21	100

Fuente: Elaboración propia

La tabla 4 nos muestra que, en los años 2016, 2015, 2012 y 2010, se realizaron las mayores cantidades investigaciones sobre la remediación de aguas residuales en los años del 2010 al 2020 y que en los tres últimos años hay una baja significativa de investigación en el tema.

Tabla 5.
Distribución de publicaciones por institución científica

Años	F	%
Centro Nacional de Investigaciones Científicas	1	5
Escuela Química, Tecnológico de Costa Rica	1	5
Instituto Tecnológico Metropolitano	1	5
Pontificia Universidad Católica Argentina	1	5
Pontificia Universidad Católica del Perú	1	5
Universidad de la Habana	1	5
Universidad Militar Nueva Granada	1	5
Universitat Politècnica de Valencia	2	10
Universidad de Sonora	1	5
Universidad de Cuenca	1	5
Universidad Autónoma de Yucatán	1	5
Universidad Nacional Federico Villarreal	1	5

Universidad Nacional de Río Cuarto	1	5
Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa	1	5
Universidad Nacional Mayor de San Marcos	1	5
Universidad de Buenos Aires	1	5
Universidad de Almería	1	5
Universidad Técnica de Cotopaxi	1	5
Universidad Peruana Cayetano Heredia	1	5
Universidad Peruana Unión	1	5
Total	21	100

Fuente: Elaboración propia

De la tabla 5 se observa que la Universitat Politècnica de Valencia (10%) tiene mayor cantidad de investigaciones sobre la remediación de aguas residuales que otras instituciones científicas que llegan al 5% de investigaciones sobre el tema en estudio.

Tabla 6
Distribución de publicaciones por categorías

Tipo de documento	Físicas	Químicas	Biológicas	Total
Artículos de revistas	3	5	6	14
Tesis profesional	1	0	2	3
Tesis de maestría	0	1	0	1
Tesis doctoral	0	2	0	2
Tesis de licenciatura	0	0	1	1
Total	4	8	9	21

Fuente: Elaboración propia

La tabla 6 nos muestra la categorización de las publicaciones de acuerdo al tipo de método que se utilizaron para la remediación de aguas residuales producto de la minería, donde se encontraron varios estudios de los cuales 4 aplicaron el método físico, 8 aplicaron el método químico y 9 aplicaron el método biológico.

Tabla 7
Distribución de publicaciones por categorías

Categoría	Aporte
Métodos Físicos	<p>El método por osmosis inversa es ideal para la mitigación de sustancias contaminantes disueltas como bacterias, virus, pesticidas, mercurio, plomo, cobre entre otros contaminantes, debido a que, este método usa membranas filtrantes a las que se consideran filtros moleculares debido al tamaño de sus poros que son extremadamente reducidos los cuales permiten el mayor filtrado de impurezas en el agua, por ende es un método muy utilizado en el tratamiento de aguas subterráneas, ya que con dicho método se puede obtener agua para solventar de ella a la población así como también a la agricultura y ganadería del pueblo aledaño (Ruiz y Coronado, 2016).</p>
	<p>El método de filtrado haciendo uso de la cascara de plátano es muy beneficiosa debido a que es recomendada por algunos expertos para la remediación de aguas residuales de mineras, por ello, en la empresa Weatherford se desarrolló un proyecto el cual consistió en quemar la cascara de plátano a una temperatura de 60°C para luego pulverizarla; además de ello usaron una dosis de 20 gramos de cascara pulverizada para 1 litro de agua con metales disueltos en ella y que al final se logró reducir el porcentaje de metales pesados entre el 70% y 93%; hecho que el compromiso de la empresa con la sociedad se vio bien reflejada en la contribución con el medio ambiente por parte de la empresa (Palacios, 2014).</p>
	<p>Existen varios estudios que buscan eliminar la contaminación del medio ambiente y en algunos casos hacen uso de métodos físicos como en algunas investigaciones que buscan reducir los contaminantes de los efluentes como en el caso de la remediación de aguas residuales de mineras subterráneas por ello se usaron filtros con membranas de quitosano 1,75% m/v y 1, 75% m/v entrecruzada con glutaraldehido 0,08%v/v dando como resultado que el cromo fue el más removido del agua mediante la filtración con membranas entrecruzadas (Mora, Chaves, Araya y Starbird, 2012).</p>
Método Químico	<p>Las aguas residuales de minería también son conocidas como aguas acidas por su bajo PH y por ende son muy peligrosas para la salud de personas que tengan contacto cercano a ella, por ello, muchos investigadores crean reactivos para disminuir la acidez de los efluentes de mina hasta el punto de neutralizar y eliminar los contaminantes y para ello hacen uso de precipitación en base a cal, o NOH como reactivo (Aduvire, 2019).</p>
	<p>Este tipo de método es usado para la disminución de metales pesados que se encuentran en las aguas residuales que son producidas por la actividad minera, por ello en investigaciones suelen utilizar el método químico el cual en algunas veces se basa en usar el jabón sin excipientes, complementándolo con un método de biorremediación usando cascarillas de arroz. Este método resulta ser muy efectivo ya que su reducción de metales oscila entre un rango de 95 a 98%, cabe recalcar que a mayor volumen de dispersión de jabón el cual está hecho con manganeso (Mn) añadida a la solución el pH aumenta debido a la neutralización permitiendo la recuperación de parte del agua contaminada para su posible uso en ganadería y agricultura (Alcántara, 2020).</p>
	<p>Muchos estudios buscan tratar los efluentes de las industrias mineras con dolomita natural, el cual, es un método de precipitación y purificación de efluentes con la con el objetivo de mitigar la presencia de metales pesados que puedan dañar a las personas, así como, al medio ambiente y ganadería. Según los autores en su investigación de concentración de cobre fue reducido un 0.53 g/Lt con respecto al valor inicial al ser tratado con dolomita (Arévalo, Flores y Romero, 2010).</p>
	<p>Hoy en día muchas investigaciones se basan en disminuir la contaminación del medio ambiente, por ello en algunas empresas buscan reducir algunos contaminantes como por ejemplo la minería, la cual, busca disminuir los metales pesados que están presentes en sus aguas residuales; entre</p>

algunos metales pesados se encuentran el Níquel (Ni) y para ello existen muchos estudios para la remoción de dicho contaminante por ello muchos investigadores optan por la precipitación química debido a que es un método sensible a las condiciones ambientales y porque es efectiva cuando el Ni está presente en varias cantidades en el agua (Marrero, Díaz y Coto, 2010).

Según Izquierdo (2010), asegura que la bioadsorción es parte del método químico que suele ser usado como un tratamiento primario o terciario cuando se trata de remediar las aguas residuales de minería, por ende, en su proyecto de investigación consistió en la eliminación de metales pesados con la ayuda de carbones activados y Posidonia Oceánica, además de ello, se realizó una comparación de resultados entre la eficiencia de eliminación de metales del agua por parte de la turba vs. la Posidonia Oceánica dando como resultado que el Ni es reducido más fácilmente con la turba y que por el contrario la Posidonia Oceánica da un porcentaje bajo en la reducción de Ni.

Según Areco (2011), menciona que en base a sus ensayos realizados con *Ulva lactuca*, la cual es una alga verde, que se encuentra con mayor exactitud en la costa atlántica argentina, puedo deducir que los metales pesados como el cadmio y plomo pueden ser retenidos sobre la biomasa de forma eficiente, y que luego de ser usadas pueden ser regeneradas lo cual lo vuelve muy beneficiosa por lo que permite la reutilización de las mismas sin tener la preocupación de que la eficacia se vea afectada por la cantidad de veces que sea reutilizada.

El método químico es muy usado en la eliminación de contaminantes que se presentan en el agua, por ello, existen muchas investigaciones como el uso del bagazo de caña de azúcar como biosorbente para la reducción de plomo y cadmio que están presente en aguas residuales de minería lo cual da como una resultado de acuerdo a la cantidad de adsorbente ya que se llegó a la conclusión que a mayor cantidad de adsorbente en el agua mayor reducción de metales pesados (Vera, Uguña, García, Flores y Vásquez, 2016).

Hoy en día los residuos de vegetales son muy utilizadas en reducción de metales pesados que están presenten en el agua, por ende, muchos investigadores optan por la bioadsorción por su bajo costo en comparación con los demás métodos, por ello, se realizó un proyecto que consistió en el uso del carbón de la cascara de la *Moringa Oleífera* como bioadsorbente para la reducción de Ni, Cu y Cd los cuales alcanzaron una reducción no menor al 93% por lo cual se concluyó que el uso de un método químico es el más usado en investigaciones científicas (García, Arnal y Alandia, 2012).

Según Cardona, Cabañas y Zepeta (2013), precisaron que la bioadsorción de plomo y zinc por biomasa de cascaras de naranjas presentan un cierto porcentaje alto de remoción de metales pesados siendo el 99.5 % como un mejor porcentaje haciéndole un tratamiento de reticulación con CaCl_2 que ayuda mejorar la eficacia de adsorción de dichos contaminantes que están presentes en las aguas residuales de las actividades mineras.

Se hizo un estudio en donde las bacterias presentes en agua de mina, producto de los procesos mineros para la obtención de cobre de la compañía minera Quiruvilca el objetivo de este proyecto fue determinar que organismos están vigentes en la muestra de agua de mina a diferentes temperaturas (4°C, 14-20°C y 28°C). Se incubaron durante 60 días en las tres temperaturas y se llegó a la conclusión que en temperaturas de 14-20°C se elaboraron cepas del género *Acidithiobacillus* spp la cual tiene la disposición de oxidar hierro ferroso y tiosulfato (Román, 2017).

Evaluación del funcionamiento de un biorreactor pasivo aplicando bacterias sulfato-reductoras para el tratamiento de drenajes ácidos de mina el cual fue identificado con la ayuda de parámetros en campo y análisis de laboratorio, en donde se pudo observar que el pH promedio fue de 3.48, originado por las rocas ácidas como la pirita. El biorreactor pasivo funciona, a los 75 días de tratamiento se registró que el pH incrementó 3.48 hasta 6.09 unidades de pH, además de ello el

Métodos Biológicos

oxígeno diluido se logró aminorar a de 4.41 mg/L hasta 0.83 mg/L y finalmente se obtuvo una remoción de 93% de Fe +3, 67% de remoción de Fe+2 y un 34% de remoción de Zinc (Palma, 2018).

Según Tejada, Villabona, y Garces (2015), menciona que el uso del método biológico en base a biomásas vivas o muertas son muy beneficiosas para la reducción de metales pesados presentes en fluentes debido a su gran eficacia, así como el bajo costo de su aplicación evitando problemas que puedan ser causados como la generación de lodos químicos.

Para controlar y reducir los contaminantes en fluentes como en las aguas residuales de minera, en la ciudad de Cananea, Sonora, se realizó una investigación utilizando la bacteria *Escherichia coli*, el cual tuvo el objetivo de determinar la reducción de metales pesados como Hierro, cobre, manganeso y zinc dando a conocer que las aguas residuales pueden ser remediadas ante los procesos tradicionales (Platt, 2011).

Hoy en día la minería es de suma importancia para la economía de varios países, pero a la vez se menciona mucho que la minería contamina el agua con metales pesados, entre los que destacan el cromo como contaminante, por ello, muchos investigadores desarrollan varios métodos para la remediación del agua, por consiguiente existen varios microorganismos que pueden ser utilizados para la reducción de cromo hexavalente, como por ejemplo, las bacterias rizosféricas que en su mayoría son amigables con el medio ambiente y altamente eficaces para ser aplicadas en estudios y tratamientos para la mitigación de contaminantes presentes en las aguas residuales de las mineras (Salgado, Pérez, Carballo, Martínez y Cruz, 2015).

Según Beltrán y Gómez (2016), mencionaron q los microorganismos tienen la capacidad metabólica de utilizar varios tipos de metales pesados como sustratos para luego inmovilizarlos o transformarlos con la finalidad de reducir los metales pesados presentes en el agua con el uso de hongos o bacterias los cuales dan como resultado una eficacia en la remediación de efluentes residuales de minería.

Desde hace décadas se han realizado estudios sobre la remediación a base de hongos, bacterias, algas entre otros microorganismos, por ello, se realizó una investigación con el fin de informar las formas de remediar las aguas con presencia de metales pesados tal como el mercurio, y para ello se pueden hacer uso de bacterias o biomásas de hongos y algas como un material adsorbente lo cual da una eficiencia de reducción de mercurio en los fluentes más comunes de la minería (Paisio, Gonzáles, Talano y Agostini, 2012).

La fitorremediación es un método biológico que se basa en la utilización de diversas plantas acuáticas, además de ello, este método es considerado como una tecnología sostenible que ayuda al medio ambiente remediando las aguas residuales que se encuentran contaminadas con metales pesados, por ende existen diversos estudios los cuales estudian a la especie *Salvinia biloba* Raddi la cual ayuda a remover el Pb²⁺ presente en efluentes, por ello se llega a concluir que la reducción de lleva a cabo por la adsorción y la acumulación intracelular de los metales pesados que se encuentran en aguas residuales de empresas mineras (Tello, Salvatierra y Pérez, 2015).

Dentro del método biológico encontramos las microalgas; microorganismos que son usados como adsorbentes de contaminantes que se encuentran presentes efluentes, por ello, en minería existen varias propuestas que buscan remediar las aguas residuales de las mineras y una de ellas son la utilización de microalgas vivas para la reducción de metales pesados lo cual consiste en la creación de un reactor de microalgas donde entran en contacto con los metales pesados para que sean removidos (Acien, Fernandez, Molina y Gomez, 2017).

Fuente: Elaboración propia

Al observar los resultados de las publicaciones de investigación, se distribuyó por categorías, las cuales constan de diferentes métodos para la remediación de aguas residuales de la minería, existen métodos físicos, los cuales se están usando actualmente en algunas empresas mineras donde

consiste en filtrar las impurezas haciendo uso de un filtro de especias estudiadas con anterioridad, así como, hacer uso de osmosis inversa.

Además hay métodos químicos donde hay que adicionar soluciones químicas estudiadas que reaccionen con los agentes contaminantes que están presentes en los efluentes de las mineras; y por ultimo están presentes los métodos biológicos que son realizados base de bacterias que ayudan a mitigar la presencia de contaminantes metálicos en los efluentes mineros; por ende son muy utilizados en industrias mineras, pero a la vez requieren de diversos estudios con anterioridad para controlar muchas variables como temperatura, pH de la solución, entre otras, para que las bacterias se mantengan con vida y realicen su trabajo sin ningún impedimento.

CAPITULO IV. DISCUSION Y CONCLUSIONES

En cuanto a los métodos físicos podemos encontrar un total de ocho autores en donde cinco de ellos coincidieron con la aplicación de remediación de aguas residuales a través del método de filtrado, obteniendo grandes resultados, según (Palacios, 2014). Logró remover los metales pesados entre un 70 a 93% y por otro lado. (Mora, Chávez, Araya Starbird, 2012). Redujeron el porcentaje de contaminación con la ayuda de filtros con membrana de quitosano en donde obtuvieron una disminución de 1.75% m/v y 1.75% entrecruzada con glutaraldehído 0.08% v/v siendo el cromo el más removido. Los otros tres autores restantes realizaron tratamientos diferentes. (Ruiz y Coronado, 2016). Aplicaron el tratamiento de osmosis inversa para mitigar las sustancias contaminantes como bacterias, virus, mercurio, plomo, entre otros, obteniendo resultados alentadores y a su vez recomendaron que se haga uso para purificar aguas subterráneas de mina, así como también en la agricultura y ganadería. Y por último el autor (Aduvire. 2019). Hizo uso de reactivos para disminuir la acidez de los efluentes de mina hasta el punto de neutralizarlos y eliminar los contaminantes, para ello hizo uso de NOH como reactivo.

En los métodos químicos encontramos ocho investigaciones, las cuales cuatro de ellas usaron el tratamiento por bioadsorción todos ellos concuerdan que aplicaron este método debido a su bajo costo en comparación a otros tratamientos y los grandes resultados que se obtuvieron fueron por arriba del 90% en cuanto a la reducción de metales pesados que están presentes en aguas residuales de mina. Otras dos investigaciones hicieron uso de la precipitación y purificación con el objetivo de mitigar la presencia de metales pesados que pueden dañar a las personas y al medio ambiente. En uno de ellos se logró reducir 0.53 g/Lt con respecto a su valor inicial con la ayuda de la dolomita. (Arévalo, Flores y Romero, 2010). Mientras que en la otra investigación de los autores (Marrero, Díaz y Coto, 2010). Decidieron usar este método debido a las condiciones ambientales

y lo efectivo cuando en Ni está presente en las aguas. Y para completar los ocho autores este último realizó el método de biorremediación el cual se basa usar el jabón sin excipientes obteniendo un resultado que oscila en el rango de 95 a 98 % de remoción de metales pesados.

Para finalizar tenemos el método biológico en donde encontramos un total de nueve investigaciones y coinciden en el uso del método a través de microorganismos (bacterias), para la remoción de metales pesados, se utilizó la bacteria *Escherichia coli*, para reducir hierro, cobre, manganeso y zinc, teniendo como resultado la purificación de las aguas (Platt, 2011). También se utilizó la bacteria rizosfericas que son amigables con el medio ambiente, ayudando a mitigar las aguas residuales de mina (Salgado, Pérez, Carballo, Martínez y Cruz, 2015). Otros autores se inclinaron por el tratamiento con biomasas ya que tiene un costo bajo para su aplicación y cuenta con grandes resultados para la reducción de contaminantes de aguas residuales en mina. Y para finalizar el autor (Palma, 2018). Realizo un biorreactor pasivo en donde sus resultados fueron la remoción de 93% de Fe y un 34% de Zinc.

Las limitaciones que pudimos encontrar en esta revisión fue que algunas de las investigaciones encontradas pasaban los diez años lo cual no podíamos tener en cuenta y otro inconveniente es que venían de fuentes repetidas.

CONCLUSIONES

- El método mas estudiado entre los años 2010 – 2020 es el de tipo Biologico y para la redacción de esta revisión sitemática se hizo uso de publicaciones de Perú, Ecuador, Argentina y Mexico.
- Los métodos encontrados para la remediacion de aguas residuales de la mineria subterránea son los metodos fisicos, quimicos y biologicos.
- El método mas aplicado en la industria minera son los bilógicos por la facilidad de aplicación y por el corto tiempo en dar buenos resultados como la disminucion de los porcentajes de metales pesados presentes en las aguas residuales de las mineras subterráneas.
- Esta revisión sitemática nos aclara que los efluentes contaminados siguen siendo un riesgo para la salud de las personas, ganaderia y agricultura por la contaminacion del agua con residuos generados por la actividad minera y por la poblacion en general, debido al incremento de varias mineras ilegales que producen residuos y los liberan en grandes cantidades a rios y lagos sin importar las consecuencias que genere, tanto al medio ambiente como al prestigio de empresas mineras legales fomentando un rechazo a la industria minera por parte de la poblacion aledaña.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ación, F., Fernández, J., Molina, E. & Gómez, C. (2017). Sistema de eliminación de metales pesados en aguas mediante microalgas. Recuperado de <http://hdl.handle.net/10835/5461>
- Aduvire, O. (2019). Innovaciones técnicas en el tratamiento de aguas acidas de mina con recuperación de subproductos con valor económico. *Medio Ambiente Minero y Minería*, 4(1), 55 – 64. Recuperado de http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2519-53522019000100006&script=sci_arttext
- Alcántara, D. (2020). *Método integrado de remediación para la disminución de la concentración de metales pesados de aguas residuales de actividad minera de la sierra central– 2018* (Tesis de maestría). Universidad Nacional Federico Villarreal, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/4112>
- Areco, M. (2011). *Métodos alternativos para el tratamiento de la contaminación ambiental por metales pesados*. (Tesis doctoral). Universidad de Buenos Aires, Buenos Aires, Argentina. Recuperado de http://hdl.handle.net/20.500.12110/tesis_n4811_Areco
<https://www.tdx.cat/handle/10803/52130>
- Arévalo, W., Flores, S. y Romero, A. (2010). Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita. *Industrial Data*, 13(1), 85 – 90. Recuperado de <https://www.redalyc.org/pdf/816/81619989013.pdf>
- Beltrán, M., & Gómez, A. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg) mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: una revisión. *Facultad de ciencias básicas*, 12(2), 172 – 197. doi: <https://doi.org/10.18359/rfcb.2027>

Cardona, A., Cabañas, D. & Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cáscara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*, 17(1), 1 – 9.

Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46729718001>

García, B., Arnal, J. & Alandia, S. (2012). Estudio de la descontaminación de efluentes líquidos con elevada concentración de metales pesados mediante bioadsorbentes de Moringa oleífera. Recuperado de

http://dspace.aepro.com/xmlui/bitstream/handle/123456789/1209/CIIP12_1098_1108.pdf?f?sequence=1

Izquierdo, M. (2010). *Eliminación de metales pesados en aguas mediante bioadsorción. Evaluación de materiales y modelación del proceso.* (Tesis doctoral). Universitat de València, Comunidad Valenciana, España. Recuperado de

<https://www.tdx.cat/handle/10803/52130>

Marrero, J., Diaz, A. & Coto, O. (2010). Mecanismos moleculares de resistencia a metales pesados en las bacterias y sus aplicaciones en la biorremediación *CENIC Ciencias Biologicas*, 41(1), 67 – 68. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181221644010>

Mora, J., Chávez, L., Araya, M. & Starbird, R. (2012). Desarrollo de membranas de quitosano y diseño de un equipo para la eliminación de metales pesados del agua. *Tecnología en marcha*, 25(3), 3 – 18. Recuperado de

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4835636>

- Paisio, C., Gonzalez, P., Talano, M. & Agostini, E. (2012). Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. *Latinoam Biotecnol Amb Algal*, 3(2), 119 – 146. Recuperado de <http://www.solabiaa.org/ojs3/index.php/RELBAA/article/view/38>
- Palacios, A. (2014). *Determinación del nivel de filtración que tiene la cáscara de plátano, para reducir metales pesados presentes en agua residual en la empresa Weatherford, Cantón Francisco de Orellana, provincia de Orellana, periodo 2014* (Tesis profesional). Universidad Técnica de Cotopaxi, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.utc.edu.ec/bitstream/27000/2715/1/T-UTC-00253.pdf>
- Palma, G. (2018). *Evaluación del funcionamiento de un biorreactor pasivo utilizando bacterias sulfato-reductoras para el tratamiento de drenajes ácidos de mina*. (Tesis profesional). Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. Recuperado de <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/6096/AMpahuga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Platt, L. (2011). *Estudio de biosorción de metales pesados de un efluente de origen antropogénico utilizando Escherichia coli*. (Tesis pregrado). Universidad de Sonora, Sonora, México. Recuperado de <http://www.repositorioinstitucional.uson.mx/handle/unison/1034>
- Román, B. (2017). *Estudio de bacterias acidófilas ferrooxidantes presentes en mineral magnetita de Toquepala, concentrado de Pirita de Poracotay agua de mina de cobre de Quiruvilca* (Tesis de licenciatura). Universidad Peruana Cayetano Heredia, Perú. Recuperado de http://190.116.48.43/bitstream/handle/upch/1022/Estudio_RomanLeon_Betsabe.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- Ruiz, A., & Coronado, M. (2016). Tratamiento de agua subterránea mediante la utilización de ósmosis inversa para consumo familiar en el sector Chuina, Morales-San Martín - 2015. *Investigación científica, tecnología y desarrollo*, 2(2), 7 – 16. doi: <https://doi.org/10.17162/rictd.v2i2.621>
- Salgado, I., Perez, J., Carballo, M., Martinez, A. & Cruz, M. (2015). Aplicación de rizobacterias en la biorremediación del cromo hexavalente presente en aguas residuales. *Revista Cubana de Ciencias biológicas*, 4(2), 20 – 34. Recuperado de <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=729adf4a-c806-450c-b65a-e415011f14d1%40sdc-v-sessmgr02&bdata=JmF1dGh0eXBIPXNoaWImbGFuZz1lcyZzaXRIPWVkcylsaXZl>
- Tejada, C., Villabona, A. & Garcés, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *Tecno Lógicas*, 18(34), 109 – 123. Recuperado de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=344234336010>
- Tello, W., Salvatierra, L. & Pérez, L. (2015). Evaluación de los mecanismos de eliminación de Pb²⁺ en sistemas de fitorremediación en lotes operados con *Salvinia biloba raddi* (acordeón de agua). *Energeia*, 13(13), 110 – 17. Recuperado de <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/5753>
- Vera, L., Uguña, M., Garcia, N., Flores, M. & Vasquez, V. (2016). Eliminación de los metales pesados de las aguas residuales mineras utilizando el bagazo de caña como biosorbente. *Química teorica y aplicada*, 73(573), 43 – 49. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5467346>