



Universidad Católica
San Pablo

i

FACULTAD DE INGENIERÍA Y COMPUTACIÓN

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN
PROCESOS MINEROS PARA LA GESTIÓN DE AGUAS RESIDUALES Y
RELAVES**

Trabajo de investigación presentado por las alumnas de la Escuela Profesional
de Ingeniería Industrial

Gabriela Estela Arenas Herrera

Karina Milagros Ponce Cajavilca

Para optar el grado académico de bachiller en Ingeniería Industrial

Asesor: Mg. Joel Fernando Arias Enriquez

Arequipa, 2021

"ANÁLISIS DE LOS MÉTODOS DE TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS EN PROCESOS MINEROS PARA LA GESTION DE AGUAS RESIDUALES Y RELAVES"

"ANALYSIS OF BIOLOGICAL TREATMENT METHODS IN MINERO PROCESSES FOR THE MANAGEMENT OF RESIDUAL AND RELAVE WATERS"

DEDICATORIA

Dedicamos esta Tesina a nuestra familia que siempre nos apoyaron incondicionalmente para poder llegar donde estamos ahora gracias a su amor y comprensión día a día.

A nuestros padres que nos brindaron los recursos necesarios y permanecer a nuestro lado siempre.

A nuestros hermanos que día a día nos impulsan a seguir en el camino de fortaleza, para poder culminar con los estudios.

A las personas que siempre nos apoyaron a entender y comprender que cada esfuerzo tiene recompensa y dedicación.

AGRADECIMIENTOS

A Dios en primer lugar, por permitirnos culminar el presente trabajo, por bendecirnos día a día con la oportunidad de disfrutar un día más con las personas que nos aman, gracias a Dios por su inmensa sabiduría y amor que nos da.

A nuestros padres, que nos apoyaron en todo momento a perseverar a pesar de las dificultades que se encontraron en el camino, con su amor y cariño fueron fuerza para seguir adelante. Gracias por que sabemos que en este presente trabajo y en toda nuestra vida, estarán con nosotras siendo nuestra fortaleza y maestro de vida.

A nuestra amada Universidad Católica San Pablo, por habernos aceptado ser parte de ella y poder entregar todo el conocimiento para hacernos profesionales y personas integras a través de los diferentes docentes que nos impulsaron a seguir día a día.

RESUMEN

Los tratamientos biológicos investigados en este trabajo son los que fácilmente reducen en un gran porcentaje los relaves y efluentes contaminantes, siendo este una investigación profunda de cada una de ellos, sabiendo sus procedimientos y algunos resultados comprobados en otras mineras o lugares abandonados por las mineras artesanales. Se hace una investigación profunda de métodos eficaz y eficientes para este tipo de tratamientos. Sin embargo, buscamos con esta investigación la total reducción de los tratamientos químicos que son nocivos, buscando métodos como humedales, electrodiálisis, zeolitas, macrofitas flotantes, geomembranas, biomasas microbianas, fitorremediación. Técnicas con resultados exitosos.

Hemos concluidos que los métodos biológicos para la depuración de aguas residuales, en el sector minero tiene resultados eficientes, además de bajos costos ya que, el proceso central se basa en las características del propio elemento estudiado. Sin embargo, también necesitan de tecnologías para la optimización de estos tratamientos investigados.

PALABRAS CLAVES:Bioadsorción, Geomembranas, Xenobióticos, Biomasa, Fitoestabilización, Humedales, Electrodiálisis, Zeolitas, Macrófitas, Fitorremediación.

ABSTRACT

The biological treatments investigated in this work are those that easily reduce by a large percentage the volumes and pollutant effluents, this being an in-depth investigation of each of them, knowing their procedures and some results other miners or places abandoned by artisanal miners. In-depth research is done on effective and efficient methods for such treatments.

However, we seek with this research the total reduction of chemical treatments that are harmful, looking for methods such as wetlands, electrodialysis, zeolites, floating macrophytes, geomembranes, microbial biomass, phytoremediation. Techniques with successful results.

We have concluded that the biological methods for the purification of wastewater, in the mining sector has efficient results, in addition to low costs since, the central process is based on the characteristics of the element studied. However, they also need technologies for the optimization of these researched treatments.

KEYWORDS: Bioadsorption, geomembranes, Xenobiotics, Biomass, Phytostabilization, Wetlands, Electrodialysis, Zeolites, Macrophytes, Phytoremediation.

INDICE GENERAL

ABSTRACT	vi
Capítulo I	10
Introducción	10
1.1. Planteamiento del problema:	10
1.1.1. Descripción del Problema:	10
1.1.1 Formulación Del Problema:	11
1.2. Objetivos de la investigación	12
1.2.1 Objetivo General	12
1.2.2 Objetivo Específico	12
1.3. Justificación de la investigación:	12
1.4. Delimitación	13
1.4.1 Temporal - Espacial	13
1.4.2 Temática	13
Aspectos metodológicos	13
2.1 Tipo de Estudio	14
2.2 Método de Investigación	14
2.3 Fuentes y Técnicas para la Recolección de Información	14
2.4 Tratamiento de la Información	15
Capitulo III	15
Marco de referencia	15
3.1 Estado del Arte	15
3.2 Marco Teórico Conceptual:	19

3.2.1 Conceptos	19
3.2.2 Tratamientos Biológicos:	23
3.2.2.1 Geo membranas	23
3.2.2.2 Biomasa microbiana	24
3.2.2.3 Humedales	26
3.2.2.4 Electrodiálisis	27
3.2.2.5 Zeolitas	28
3.2.2.6 Macrófitas flotantes	32
3.2.2.7 Algas rojas, cascara de naranja y tuna	34
3.2.2.8 Fitorremediación	36
Capítulo IV	38
Resultados y conclusiones	38
4.1 Resultados	38
4.2 Conclusiones y Recomendaciones	41
Referencias	43
Apéndices	47

INDICE DE TABLA

<i>Tabla 1: Materiales biosorbentes usados para la adsorción de metales pesados.....</i>	22
<i>Tabla 2: Mecanismos de fitorremediación. (GHOSH & SINGH, 2005).....</i>	36
<i>Tabla 3 Ventajas y Desventajas de cada método biológico</i>	39

INDICE DE FIGURA

<i>Figura 1: Principios básicos en la eliminación/ recuperación de metales de soluciones acuosas por biomasa microbiana o productos derivados.</i>	26
<i>Figura 2 Batería de filtros en laboratorio</i>	30
<i>Figura 3 Detalle diseño de batería de filtros</i>	30
<i>Figura 4 Muestras de agua antes y después del filtrado.....</i>	31
<i>Figura 5 Representación gráfica de los datos para los metales evaluados bajo condiciones de laboratorio</i>	32
<i>Figura 6: Capas del proceso de encapsulamiento y revegetación</i>	47
<i>Figura 7: : Técnicas utilizadas para efluentes minero</i>	48

Capítulo I

Introducción

1.1. Planteamiento del problema:

1.1.1. Descripción del Problema:

La contaminación de aguas residuales y los relaves, están causando a los pobladores aledaños de estas industrias mineras un gran desacuerdo del trabajo que realizan por la “destrucción” de su comunidad, ya que no están usando métodos adecuados para la extracción del mineral, que no contribuyan al medio ambiente.

La explotación de minerales es una actividad económica que se realiza desde hace muchos años en todo el Perú, ya que vivimos en un país rico en minerales. Esta actividad en muchos de sus procesos utiliza elementos químicos que son nocivos para la salud humana, elementos que al ser utilizados causan daño a las poblaciones aledañas.

Debido a la creciente ola de problemas causados por los procesos mineros en la población, diversas organizaciones a nivel mundial buscan métodos que reduzcan estos daños, para hacer de la minería, una actividad no nociva para la salud. Mejorando la imagen de la minería, se logrará una mejor relación entre las mineras y los pobladores de sus respectivas AID (aéreas de influencia directa), esto evitara los conflictos que, en el presente, generan gastos innecesarios, y paralizaciones que reducen la productividad de la actividad minera en el Perú.

“La flora y la fauna pueden ser afectadas y los recursos hídricos pueden tornarse dañinos para el consumo humano o los propósitos agrícolas e industriales.”(ÁLVAREZ, 2013, pág. 15)

La falta de información y el poco incentivo que tienen estas industrias por contribuir el ambiente está generando a que los pobladores rechacen estas actividades mineras, siendo estas el peor enemigo para el pueblo.

Recientes estudios, han demostrado que se pueden realizar procesos de extracción de minerales con métodos biológicos, los cuales no son nocivos para la salud, ni generan un impacto ambiental en el ecosistema donde son utilizados. Estos métodos, podrían generar una reducción del impacto ocasionado en la actualidad por la actividad minera en Arequipa.

1.1.1 Formulación Del Problema:

¿Existen métodos de tratamientos biológicos que ayuden en los procesos mineros para la gestión de aguas residuales y relaves?

1.1.2 Sistematización del Problema:

- ¿Existen métodos biológicos para la obtención de minerales eficientes?
- ¿Los métodos biológicos analizados cuáles son sus ventajas y desventajas, así como sus factores para poder ser implementados en el sector minero?
- ¿Los métodos analizados son económicos o viables para implementarlo en el sector minero de nuestra localidad?
- ¿Cuál y cuáles de los métodos serían el más apropiado para poder llevar a cabo el tratamiento de aguas residuales?

1.2.Objetivos de la investigación

1.2.1 Objetivo General

Establecer los principales métodos de tratamientos biológicos que ayuden en los procesos mineros para la gestión de aguas residuales y relaves.

1.2.2 Objetivo Específico

- Hacer una revisión bibliográfica de los diferentes métodos biológicos para el tratamiento de aguas residuales en el sector minero.
- Realizar una descripción y análisis de los diferentes métodos para el tratamiento de aguas residuales para poder identificar sus ventajas, desventajas, propiedades y factores asociados a su implementación y desarrollo para el sector minero.
- Evaluar el impacto económico que tendrá la implementación de los métodos biológicos en la actividad minera.
- Realizar una evaluación comparativa de los diferentes métodos analizados para poder determinar el mejor aplicado al sector minero.

1.3.Justificación de la investigación:

En este apartado, se explicará los métodos biológicos, que están haciendo que mejora la responsabilidad ambiental de las industrias mineras.

Donde se pueden encontrar diferentes fuentes bibliográficas, modelos distintos y métodos que logran el mejoramiento de estas aguas residuales y relaves mineros, que son consecuencias después de la extracción del mineral. Este trabajo contribuirá al mejor manejo de información para sector minero acerca de los métodos de tratamientos de aguas residuales y relaves minero.

Con la finalidad de que el sector minero gran contribuyente económico, no sea enemigo de los pueblos ni del medio Ambiente. Aparte de que son métodos con bajos costos y de fácil realización.

1.4.Delimitación

1.4.1 Temporal - Espacial

La presente tesina se elaborará en el periodo académico 2019-02.

Cubrirá un periodo de 4 meses. Desde el mes de agosto a diciembre del año 2019.

1.4.2 Temática

El presente trabajo de tesina radica en el análisis de los métodos biológicos en procesos mineros para la gestión de aguas residuales y relaves. Se hará un estudio bibliográfico acerca de diferentes métodos de tratamientos biológicos para la depuración de las aguas residuales que contienen compuestos tóxicos, para disminuir el uso de métodos químicos y así poder tener un resultado igual en cuestión de depuración y también ser amigable con el medio ambiente.

Capitulo II

Aspectos metodológicos

2.1 Tipo de Estudio

Se ha realizado un estudio de tipo exploratorio porque se da una revisión bibliográfica de las principales fuentes secundarias de información relacionada al tema de investigación y descriptiva porque se sintetizará los principales hallazgos de la revisión bibliográfica la utilización de métodos biológicos para sector minero, permitiendo implementar estas técnicas en nuestro país dando a conocer a profundidad de todos los beneficios de estas metodologías.

2.2 Método de Investigación

Se desarrolló una revisión bibliográfica ya que se basó en documentos escritos para elaborar y sustentar la investigación, con lo que hay que buscar referencias métodos biológicos en el sector de minas, realizando fichas de lectura para la obtención de resúmenes, palabras claves, para así referenciar y complementar los puntos en el trabajo de investigación.

2.3 Fuentes y Técnicas para la Recolección de Información

Se desarrolló fuentes secundarias para la recopilación y extracción de documentos realizados por investigadores con el mismo interés en el tema en común, utilizando la recolección de datos de textos, documentos y otros para la investigación de la aplicación de métodos biológicos en las industrias mineras aumentando nuestro conocimiento en el trabajo a investigar permitiendo obtener una mayor información.

2.4 Tratamiento de la Información

Se desarrolla la presentación de la información para definir los datos recopilados, en forma escrita utilizando gráficas, imágenes para mayor entendimiento del tema métodos biológicos.

Capítulo III

Marco de referencia

3.1 Estado del Arte

- 1) Según la información brindada por Deloya Martinez, A. (2012). Tratamiento de desechos del cianuro por biorremediación. *Tecnología en marcha*, 61-72, el objetivo fue el desarrollo de microorganismos adaptado para degradar concentraciones altas de cianuro, que se pueda conservar por tiempos extensos, para poder aplicarlos en la biorremediación de los desechos del cianuro.

Para ello se realizó el proceso de lixiviación del desecho en agua a una temperatura ambiente, con micronutrientes (Ca, Fe, Mg), además de controlar un pH de 10,4 para llevarlo al medio alcalino. Luego, se agitó por 3 días aproximadamente, bajo las mismas condiciones y se dejó 12 días más aprox., obteniendo así el consorcio microbiano.

Como conclusión de la investigación se refleja que el consorcio microbiano logra eliminar el cianuro de forma eficiente y a la vez económica. Su eficiencia tiene entre 95 % - 98% de remoción.

La técnica de biorremediación es una alternativa muy viable para la depuración de las aguas residuales.

- 2) Según Rubio, A., Chica, E. L., & Peñuela, G. A. (2013). Procesos de Tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. *Revista Ambiente y Agua*. Nos da a conocer que los tratamientos biológicos convencionales que se usan en las plantas para el tratamiento de aguas residuales, por si solos no son eficaces en su depuración. Por ello, el presente artículo, tiene como objetivo la evaluación y la optimización de tratamientos más eficaces, como por ejemplo el proceso de oxidación avanzada y de filtración por membranas.

Las técnicas mencionadas obtienen resultados satisfactorios en la eliminación de contaminantes orgánicos, sin embargo, presentan ciertos inconvenientes, por ello lo que se planteó fue la combinación de los procesos biológicos con estas tecnológicas para la mejora en el trato de aguas residuales contaminadas.

La investigación refleja que la combinación de los procesos de oxidación avanzada (POAs) y filtración por membranas con un sistema biológico son una posible alternativa para eliminación de residuos.

- 3) Según Díaz Álvarez, J. (2013). Tratamiento biológico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje ácido, generado por la actividad minera en el municipio de Marmato-Caldas. Manizales. Se realizó un estudio sobre el Drenaje Ácido de Mina (DAM) de la mina Cascabel, Marmato Caldas – Colombia, ya

que en esa mina no se había realizado algún tipo de tratamiento diferente a las aguas residuales.

Sobre el análisis de la mina, se logró encontrar metales pesados en el drenaje como: Al, Cu, Fe, Pb. También se encontraron sólidos como Al, As, Cd, Mn, Hg, Zn; estos elementos sobrepasan los límites permitidos por el Ministerio del Ambiente y Desarrollo Sostenible.

Por dicha razón, se realizó un proyecto piloto, es decir, un estudio a una escala pequeña, con el objetivo de determinar el impacto a favor del medio ambiente.

El experimento consistió en un sistema reductor y productores alcalinidad, donde se utilizó el Hidróxido de Sodio, ya que neutraliza las aguas ácidas y perjudica en la oxidación de los sulfuros y elimina metales pesados ocasionando su insolubilidad. Como resultado de esta práctica, se observó que la presencia de ciertos elementos es reducida tales como: Cu, Al, Fe, Cd, Mn, Zn; no obstante, aunque estos elementos se reducen considerablemente, solo el Al, Cu y Fe terminan con valores por debajo de lo permitido, los demás aún se presentan con valores por encima de lo permitido.

También se observó un aumento de alcalinidad de 4 a 8 de las aguas del drenaje ácido, causando así una mejoría en el medio ambiente.

Como conclusión, propone implementar un tratamiento diferente como lagunas sedimentadoras o lechos filtrantes para ciertos metales como el As, Hg y parte de Cd,

Mn y Zn que aún tenían valores por encima de lo permitido, para que disminuya su concentración en el agua.

- 4) Según Puente, I., Laguela, S., Veiga, M., & Pozo, J. S. (2017). Tratamiento microbiano de aguas ácidas resultantes de la actividad minera: una revisión. El objetivo de este artículo fue el investigar la información acerca de las técnicas preventivas que existen en los microorganismos oxidantes de Fe para impedir su operación y la reducción de acidez de los drenajes ácidos de mina ya generados, mediante la implementación de microbios.

Define que las técnicas bactericidas son útiles para el control de las aguas contaminadas durante las fases como el laboreo y la preparación de las escombreras, además de considerar tecnologías de bajo coste al minimizar el tratamiento de las aguas.

Da a conocer cuatro líneas de investigación:

- Inhibición bacteriana biológica
- Empleo de detergentes aniónicos
- Uso de sustancias orgánicas conservantes
- Aplicación de vegetación

Estas son las menos dañinas en el medio ambiente, siempre y cuando no se adicione agentes artificiales.

Con respecto a la investigación realizada de otras fuentes, se llega a la conclusión de que el uso microbiológico para la depuración de los AMD son los menos agresivos para el medio ambiente, lo cual contribuye para su mejora. La investigación de bacterias como recomendación debe ser aislada y estudiada más a fondo para poder identificar un desarrollo óptimo de estas.

3.2 Marco Teórico Conceptual:

3.2.1 Conceptos

La actividad minera constituye una fuente importante de crecimiento económico para Perú, ocupando un lugar privilegiado en el mundo por su producción y potencial minero. En el Perú encuentras la gran minería (minería legal), las pequeñas minerías y las minerías artesanales (minería ilegal). A consecuencia de ello, produce un impacto ambiental que es necesario analizar para su posible tratamiento.

Contaminación palabra que genera boom comercial, todos nos enfocamos en mejorar el planeta para reducir todo factor contaminante, y esta investigación está basada en buscar tratamientos o técnicas, para el sector minero.

“La industria minera es una de las fuentes principales que generan ingresos económicos para la población y para la Nación, pero desafortunadamente, el escaso control de las autoridades, la ilegalidad y el uso de insumos químicos ha traído nefastas consecuencias para los ecosistemas, con un agravio especial para los recursos hídricos, que ha convertido a la minería ilegal en el problema más sensible desde el punto de vista del impacto ambiental que tiene hoy en día el país.” (Diaz Alvarez, 2013, pág. 15)

Las industrias mineras están tomando conciencia de que tan importante es el impacto ambiental en las zonas que se encuentran, que buscan métodos que ayuden a contribuir con esta; en este caso buscan de los diferentes métodos de tratamientos biológicos que hay para los efluentes y relevos contaminantes.

“Los tratamientos biológicos son preferidos siempre que sea posible, ya que tienen mayores rendimientos con menores costes económicos de explotación y mantenimiento, y destruyen completamente los contaminantes, transformándolos en sustancias inocuas como el dióxido de carbono, el metano, el nitrógeno molecular, y el agua.” (Daphne, 1994, pág. 22)

En cuanto a la eficiencia de los tratamientos biológicos, son económicamente son muchas más factibles, que otros tipos de tratamientos o técnicas, ya que, con bajos recursos y materiales no nocivos al medio ambiente, reduce o elimina los relaves y los efluentes.

De acuerdo con LEDESMA VELITA (2018): “En el transcurso de los años la actividad minera se vincula al desarrollo económico beneficiando a los pueblos, comunidades o países por ser un sustento económico mundial, por el desarrollo económico, desarrollo tecnológico en todos sus sectores; pero, teniendo como consecuencia la afectación severa del medio ambiente, la salubridad humana y los bienes naturales.”

“El agua es de vital importancia para el ser humano, ya que, al ser considerado el solvente universal, ayuda a eliminar las sustancias que resultan de los procesos bioquímicos producidos en el organismo.” (Camacho, 2011)

Los tratamientos que realizan las industrias mineras no son recomendables, ya que usan materiales químicos, que luego de utilizarlas son desechados, causando terribles pérdidas para nuestra población, entonces buscaremos los diferentes métodos biológicos que contribuyan con nuestro planeta Tierra.

“Una investigación más profunda es el suministro de agua que no provoque peligro en la salud de la población, constituye uno de los objetivos prioritarios, que deben aspirar todos los países y que se encuentra recogido en los Objetivos de Desarrollo del Milenio” (ONU, 2000, ODM N°7, Meta 10).

Continuando sobre la contaminación, nos dice Pacheco-Gutiérrez,(2007): “El tratamiento del agua residual de los procesos mineros requiere la remoción o la reducción de contaminantes orgánicos, así como la reducción de la concentración de las especies iónicas que dañan al proceso “.

El tratamiento biológico para aguas residuales es conseguir ingredientes o materiales que ayuden a no contaminar, no solo en su reducción y si no a la eliminación. Queriendo obtener aguas purificadas para que sirvieran del consumo de la aldea, para su proceso (reutilización).

Los relaves, fuente contaminante y preocupante que resalta en el sector industrial minero que según LEDESMA VELITA(2018): “El gran impacto que genera los relaves mineros en el Perú ha llegado hasta desequilibrar el ecosistema, afectando la salud humana, siendo un alto contaminante de los flujos de aguas superficiales y subterráneos, y modificando sustancialmente el paisaje”.

Definición “Los relaves son residuos sólidos minerales que comprenden su tamaño entre arenas y limos, originados del proceso de producción, transporte y depositados en forma de lodo.”(Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Energía y Minas del Perú, 2018)

Los efluentes de las industrias mineras preocupan a nivel mundial, por la alta contaminación e incremento que se está dando de los metales pesados, metales como el cromo, níquel, plomo,

mercurio. Estas sustancias tóxicas ha llevado a los científicos a desarrollar métodos que subvencionen al medio ambiente.

La importancia sobre la investigación ambiental en el Perú, es sumamente preocupante, ya que no hay una estadística exacta sobre este tema, por ende, no se sabe cuántos lugares están contaminados por eso buscar mejoras de contribución como los tratamientos biológicos que ayuden a depurar estos desperdicios en las efluentes y relaves.

En la tabla 1 nos indica tipos de adsorbentes de metales pesados que han sido usadas en diferentes industrias mineras para la supresión en medios acuosos.

Tipo de adsorbente	Biosorbente
Organismos Vivos	<i>Penicillium</i> [55], [56] <i>Aspergillus Rizopus</i> [33], [57] <i>Paecilomyces</i> [58], [59]
Biomásas	Cáscara de tamarindo [60] Cáscara de naranja [38] Cáscara y semilla de manzana [61] Cebada (<i>Hordecum vulgare</i>) [62]
Biopolímeros	Bentonita - Quitosano [63] Quitosano Epiclorhidrinatrifosfato [64]
Carbones activados	Carbón activado a partir de <i>Escherichia coli</i> y carbón activado a partir de <i>Arthroba-cter viscosus</i> [65], [66] Carbón activado a partir de cáscara de naranja [67] Carbón activado a partir de cáscara de coco [68]
Modificación Químicas	Biomasa reticulada con glutaraldehído [69], [70] Biomasa reticulada con cloruro de calcio [70], [71] Biomasa modificada con ácido cítrico [72], [73]
Otros materiales	Arena [74] Zeolita [75], [76] Cenizas volantes [77]

Tabla 1: Materiales biosorbentes usados para la adsorción de metales pesados

Fuente: (Jaraba & S. C. Coavas Romero)

Los tratamientos biológicos se basan en la capacidad de una unión de microorganismos que son capaces de degradar la materia orgánica que está contenida en el agua residual para su propio crecimiento.

El objetivo del tratamiento biológico de efluentes y de relaves es realizar un sistema factible para recoger los resultados de la descomposición para una eliminación adecuada.

3.2.2 Tratamientos Biológicos:

Hemos indagados diferentes métodos que ayudan a la reducción y eliminación de los efluentes y relaves causados por las industrias mineras.

3.2.2.1 Geo membranas

Definición de Geomembrana de acuerdo a VILLASANTE/HUAHUACONDORI, (2014) “Son láminas delgadas de material plástico o de caucho “impermeables”, utilizadas principalmente como revestimiento y cobertura de dispositivos de almacenamiento de líquidos o sólidos. Así, su función básica es siempre como barrera de líquidos o de vapor.”

Método utilizada para los relaves y drenaje ácido de mineros (DAM), que nos dice “Esta técnica consiste en colocar la Geomembrana sobre los relaves una vez niveladas y compactadas y que actuará como barrera impermeable para evitar la infiltración de agua hacia los relaves y evitando la generación de agua ácida.”(LEDESMA VELITA, 2018)

PROCESOS:

Para este método los relaves tienen que estar estabilizados física, química y biológicamente, para poder minimizar la biodisponibilidad (“Es la capacidad de la incorporación de sustancias

tóxicas en los seres vivos, por medio de procesos de ingesta, absorción o inhalación, y están en base a las delimitaciones fisiológicas del receptor y las características químicas del xenobiótico.”(MINISTERIOS DEL AMBIENTE)) de los metales presentes. Para esto se necesita el tratamiento de Fitoestabilización este se encarga de la estabilización de los compuestos de los relaves en donde el material es realmente alcalino.

Luego las Geomembranas serán como barrera en el depósito de este relave minero.

Con este método se ha estabilizado y controlado la erosión eólica de partículas finas de relave y el drenaje ácido de mina en los depósitos abandonados.

En la figura 6 nos explica sobre el proceso de encapsulamiento de una capa de Geomembrana, luego del filtrado drenante o material granular, por penúltimo un suelo de cobertura en donde se utilizará para el cultivo, este cultivo es para aprovechar la zona contaminada y contribuir con el medio ambiente.

Este método ya ha sido usado en las minas de Huarón, Atacocha y Casapalca. Con un éxito en sus resultados.

3.2.2.2 Biomasa microbiana

Método utilizado para absorción de metales y recuperación de metales, hay de varios tipos de biomasa microbiana, pero estas son las más “populares” son las células inertes y células vivas, a través de mecanismo fisicoquímicos o intercambios de iones.

“La biomasa microbiana (o sus productos) es puesta en contacto con una solución de metales y una vez que éstos han sido removidos por ella, se tiene la opción de recuperar la biomasa íntegra (funcional)”.(Cañizares Villanueva, 2000)

Para la bioadsorción, (Cañizares Villanueva, 2000) “se utiliza para referirse a la captación de metales que lleva a cabo una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico.”

La Bioadsorción es en definición por (Villabona Ortiz, Tejada Tovar, & Garcés Jaraba, 2014): “Un proceso que permite la captación activa o pasiva de iones metálicos, debido a la propiedad que diversas biomasas vivas o muertas poseen para enlazar y acumular este tipo de contaminantes por diferentes mecanismos.”

- Procesos:

Se tiene la solución de metales, se introduce las biomasas microbianas (ya sean productos derivados y excretados, vivas, inertes, libre, etc.), pasa por el precipitado y complejos de metal, luego hay dos recuperaciones una destructivas y otra no destructivas, saliendo los metales pesados, luego para la recuperación de no destructivos, se hace una regeneración de biomasas o producto utilizado (derivados).

Para este método depende de los bioadsorbentes, para que la extracción de metales sea eficiente, para su fácil recuperación, tanto la biomasa viva como la muerta y sus productos derivados o excretados, pueden acumular metales pesados. Con una investigación más profunda se recomienda el uso de biomasas muertas que las vivas, son más rápidas y eficientes en la remoción de metales, la biomasa se comporta como un intercambiador de iones, los metales son liberados fáciles y se pueden recuperar, no necesita de nutrientes de alimentación, ni productos metabólicos.

En la figura 1 está el proceso de biomasa microbiana por procesos de tratamientos biológicos, para el retiro de metales pesados.

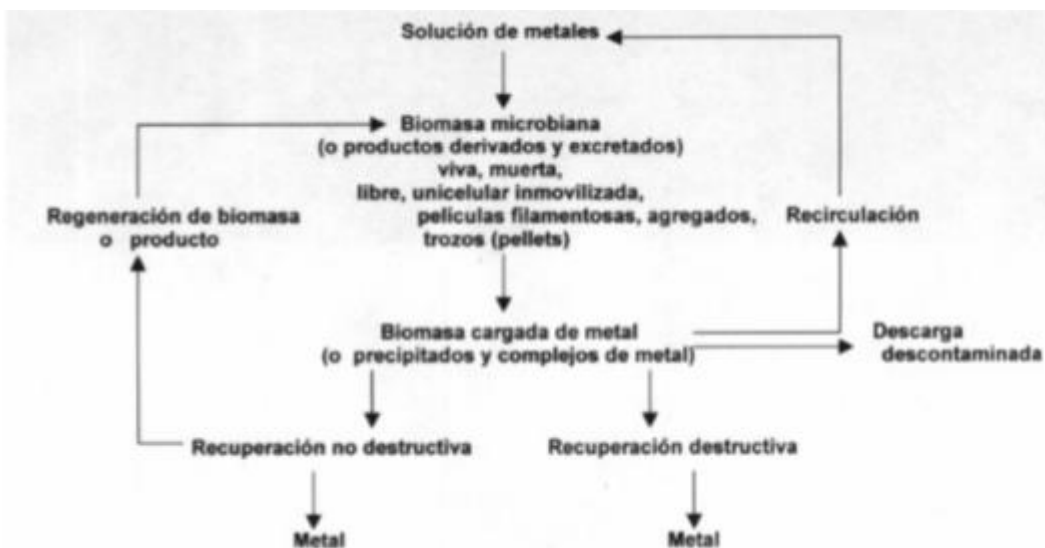


Figura 1: *Principios básicos en la eliminación/ recuperación de metales de soluciones acuosas por biomasa microbiana o productos derivados.*

Fuente: (Gadd, 1998)

3.2.2.3 Humedales

Los humedales son la combinación entre un grado de humedad y una abundante vegetación, las cuales contienen características biológicas, físicas y químicas, las cuales funcionan como un sistema de depuración de aguas residuales.

- Proceso de eliminación biológica

Como mencionamos, los humedales funcionan como procesos de remoción físico, químico y biológico. Nos enfocaremos en la investigación de la eliminación biológica de estas aguas.

Hay varias especies de plantas de humedales que tienen la capacidad de soportar metales tóxicos, como, por ejemplo, el cadmio y plomo. Con respecto a la eliminación de los

contaminantes en las aguas, la duración de este, es variable, depende del desarrollo de la planta y la concentración de contaminante en su tejido.

Cuando se habla de plantas leñosas, se nombra a los árboles o a los arbustos, estos proporcionan un mayor tiempo de almacenaje de los contaminantes comparado con las plantas herbáceas, sin embargo, las plantas herbáceas tienen la capacidad de obtención de contaminante en área tierra son mucho más altas que las leñosas.

3.2.2.4 Electrodialisis

En este proceso, las sales disueltas ionizadas atraviesan las membranas y de esta forma se eliminan las partículas cargadas eléctricamente; no produce una total eliminación de sales, sino que, en la práctica, la reducción de salinidad es del orden del 40%. Para efectuar una determinada reducción se dispone de una cascada de células de electrodialisis. Este proceso puede competir de forma ventajosa con la destilación para aguas de baja salinidad (salobres), pero no con el agua marina. La explicación reside en que mientras en los procesos de destilación el costo de la operación no depende de la salinidad del agua de partida, en la electrodialisis el consumo de energía es proporcional al contenido de sólidos disueltos. No se tratan por electrodialisis aguas con más 5 000 de ppm.

De acuerdo con ARREGUÍN, (2000): Otra desventaja es que las membranas son caras y están sometidas a polarización e incrustación si la intensidad de corriente es elevada. La presencia de materia orgánica, sílice disuelto y hierro en el agua de alimentación incrusta y reduce la vida de las membranas.

3.2.2.5 Zeolitas

Las zeolitas nacen a partir de la precipitación de ciertos fluidos que se encuentran en los poros, alteración de vidrios volcánicos, etc. Este material abunda en México, posee propiedades de intercambio iónico, por ello pueden remover iones metálicos que se encuentran en aguas contaminadas. Una de las características más importantes de las zeolitas, es su estructura micro porosa que le otorga propiedades absorbentes además de una capacidad para el intercambio de cationes, esto ocurre a causa de un desequilibrio de cargas en la relación Si y Al. De hecho, hay varios artículos que avalan el método de las zeolitas para el tratamiento de aguas residuales, definiéndolas una entre las más eficientes.

Propiedades de las zeolitas:

- a) Porosidad
- b) Adsorción
- c) Intercambio iónico (I.I.)
 - Tratamiento de efluentes mineros

Las características de las zeolitas para el tratamiento de los efluentes mineros definido por varios autores son el bajo coste de extracción, volumen disponible, son estables a los procesos químicos y térmicos, los cuales ayudan a su reactivación y hacen que sean útiles en diferentes ciclos.

El tratamiento con zeolitas no solo se enfoca en efluentes mineros, sino en metalúrgicos y también en la contaminación por mercurio, que es causada por las minerías artesanales, es decir, informales.

Como se menciona, el uso de las zeolitas tiene éxito cuando se requiere la limpieza de aguas residuales, donde básicamente, su función es dejar el agua en condiciones para su reúso. De acuerdo a los resultados de investigaciones, se plantea la opción de usar zeolitas naturales combinado con zeolita sintética con plata como agente microbiológico, ya que tiene una alta estabilidad y funciona de manera exitosa como un antibacterial. Al combinarse la plata y la zeolita hace que la plata libere iones en el agua, causando así la eliminación de microorganismos coliformes.

- Aplicación de la zeolita – técnica de absorción atómica

El siguiente ejemplo se realizó en una prueba de laboratorio empleando la zeolita para identificar la eficiencia en la depuración de un licor mixto contaminado por metales pesados. En primer lugar, se instala una batería de filtros que básicamente contiene un primer filtro, el cual se encuentra enlazado a un segundo filtro, descendente y ascendente respectivamente; estos tienen un diámetro de 10.5cm, una altura de 60 cm y un empaque de 50 cm para la zeolita. (Figura 2 y 3).

Al licor se le adicionó metales pesados como el plomo, níquel, cadmio, mercurio, entre otros.



Figura 2 Batería de filtros en laboratorio

Fuente: (Acevedo Cifuentes, Builes Felizzola, Ordoñez Ante, & López Sánchez, 2011)

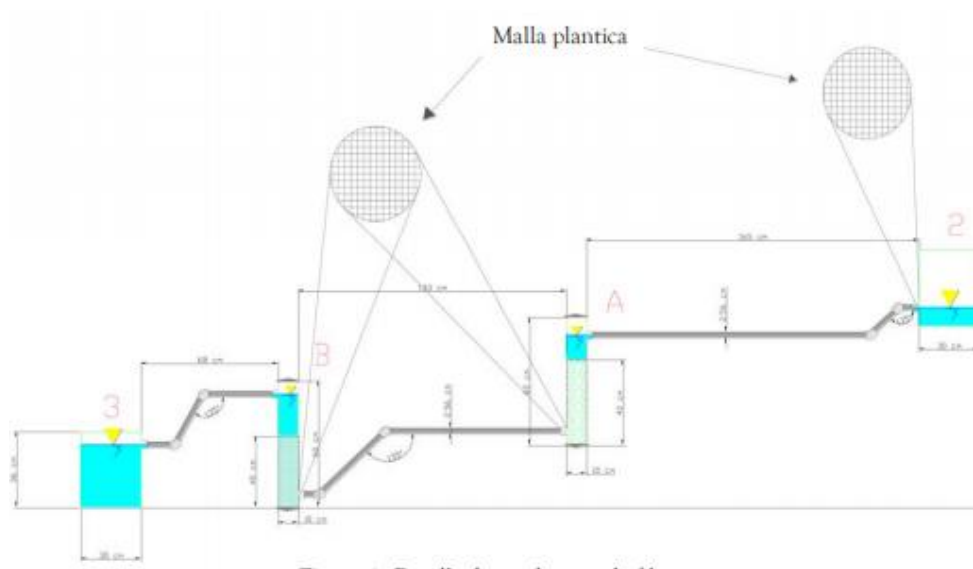


Figura 3 Detalle diseño de batería de filtros

Fuente: (Acevedo Cifuentes, Builes Felizzola, Ordoñez Ante, & López Sánchez, 2011)

Luego de que estos metales pasaran por los filtros de esta máquina, se observó que la cantidad de metales era baja. El volumen que se utilizó fue de 10 lt, de licor mixto y dentro de ellas, 100 ml de la solución que estuvo compuesta por la combinación de los metales pesados. La técnica que se usó fue la absorción atómica y se elaboró a temperatura ambiente sin modificar el pH del agua.

Se hicieron 3 pruebas, el tiempo que cada prueba estuvo en los filtros fue de 5 minutos para poder lograr una saturación completa de la zeolita con la solución. Se puede observar como inician las 3 muestras y como finalizan (Figura 4)

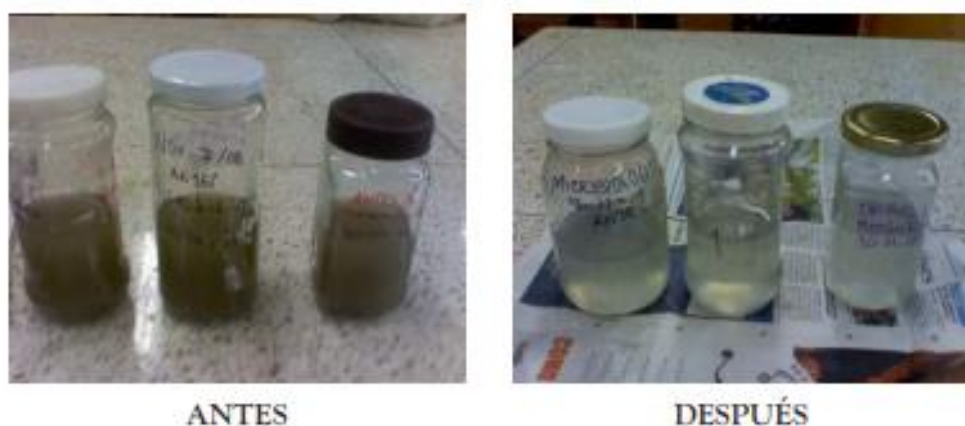


Figura 4 Muestras de agua antes y después del filtrado

Fuente: (Acevedo Cifuentes, Builes Felizzola, Ordoñez Ante, & López Sánchez, 2011)

- Eficiencia de los filtros para la depuración de metales

Se puede observar que la concentración final de cada metal decrece considerablemente después de haber pasado por el filtro. (Figura 5)

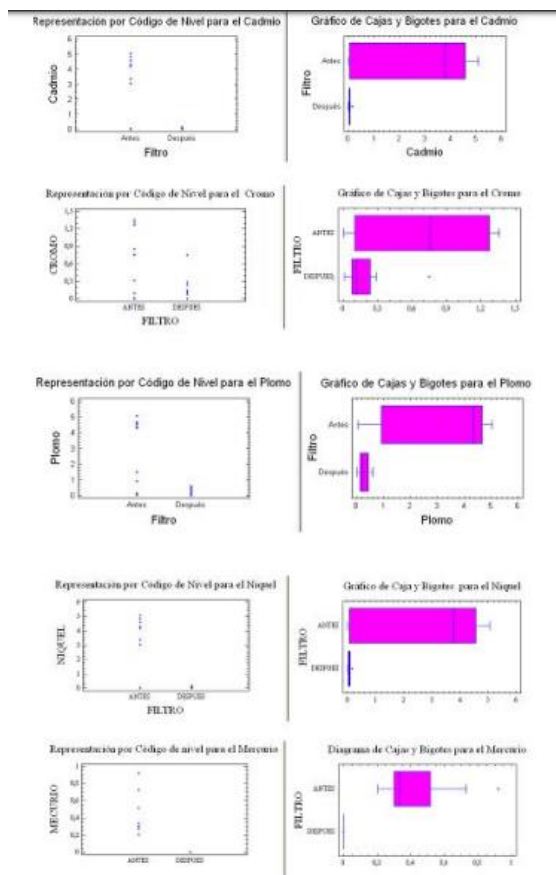


Figura 5 Representación gráfica de los datos para los metales evaluados bajo condiciones de laboratorio

Fuente: (Acevedo Cifuentes, Builes Felizzola, Ordoñez Ante, & López Sánchez, 2011)

3.2.2.6 Macrófitas flotantes

Las macrófitas flotantes en realidad abarcan un gran número de plantas, en las cuales, se pueden encontrar diferentes grupos de estas, entre los más destacados, se pueden encontrar a la lechuga de agua, el Jacinto de agua, lentejas de agua, entre otros.

La intervención de macrófitas flotantes para el tratamiento de aguas residuales han tenido realce con respecto a su eficiencia en la remediación de aguas con contenidos tóxicos tales como el arsénico, zinc, cadmio, cobre, cromo, plomo y mercurio.

Este presenta la capacidad de ser utilizado en núcleos rurales debido al bajo consumo de energía, operación de los sistemas de tratamiento. Sin embargo, aún no se tiene claro de manera rigurosa los procesos en la depuración de las aguas residuales.

El proceso de depuración de aguas contaminadas, por medio de macrófitas flotantes, se dan mediante 3 mecanismos principales:

- Filtración y sedimentación de sólidos
- Integración de nutrientes en plantas y su colecta.
- Disminución de la materia por un grupo de microorganismos añadidos a sus mismas raíces.

La implementación de las macrófitas flotantes para la depuración de aguas residuales, han sido desarrollados mediante diferentes esquemas de procesos. El sistema más utilizado es por humedales. Este sistema por humedales se puede dar de las siguientes formas:

1. Humedales con grupos de plantas flotantes

Este proceso consiste en tener estanques con una profundidad de 0.4 a 1.6 aproximadamente, en donde las macrófitas podrán desarrollarse. Se toma como prueba el Jacinto de agua, ya que esta planta presenta una alta capacidad de asimilación y proliferación. Los sistemas se ordenan con respecto a la cantidad de oxígeno y método de aireación empleado, como los sistemas aerobios en jacintos sin una aireación

adicional, donde se puede encontrar la tolerancia a altas y bajas cargas orgánicas para poder lograr tratamientos secundarios según sea el caso. Sin embargo, estos sistemas causan la aparición de mosquitos y olores.

2. Humedales con macrófitas ascendentes

Las macrófitas ascendentes utilizados en este sistema son puestos a maquinarias diferentes las cuales los hacen flotar, dentro de los sistemas que se han desarrollado, se encuentra los “Filtros de Macrófitas en Flotación” (FMF), la cual consiste básicamente en unir las ventajas que tiene los humedales de flujo superficial y los sistemas acuáticos.

Este sistema por flotación consiste en el soporte de las macrófitas con respecto a la unión de sus raíces y órganos sumergidos, lo cual crea un filtro que se encuentra en todo momento cubierto por las aguas residuales.

3.2.2.7 Algas rojas, cascara de naranja y tuna

Esta técnica empieza por un lavado de las algas rojas, para la eliminación de residuos, se pone en un ambiente frío, para conservarla. Para la tuna, se cortan en trozo pequeños y se lavan un par de veces para eliminar compuestos solubles adheridos.

PROCESOS:

Para esta técnica se ha comprobado que los tres compuestos en proporciones diferentes en drenajes de ácidos de minas ayudan a obtener de una manera natural con estos tres compuestos algas rojas, cascara de naranja y tuna.

Para obtener pruebas de que estos compuestos biológicos sean óptimo para este tipo de contaminante minero, se ha hecho pruebas en ensayos batch que se hace un efecto del pretratamiento del biomaterial, con este paso se sabe qué porcentaje de algas, de cascara y tuna son necesarios para la extracción en estos efluentes contaminantes, luego se procede a la influencia del empaquetamiento sobre la eficiencia de sorción, por último se hace el paso de calcinación, hace que las cascara de naranja se pongan en cenizas para poder realizar el paso de la adsorción de los metales.

Lo cual remueve un gran porcentaje de Cd, Pb y ZN sin requerir ninguna sustancia química.

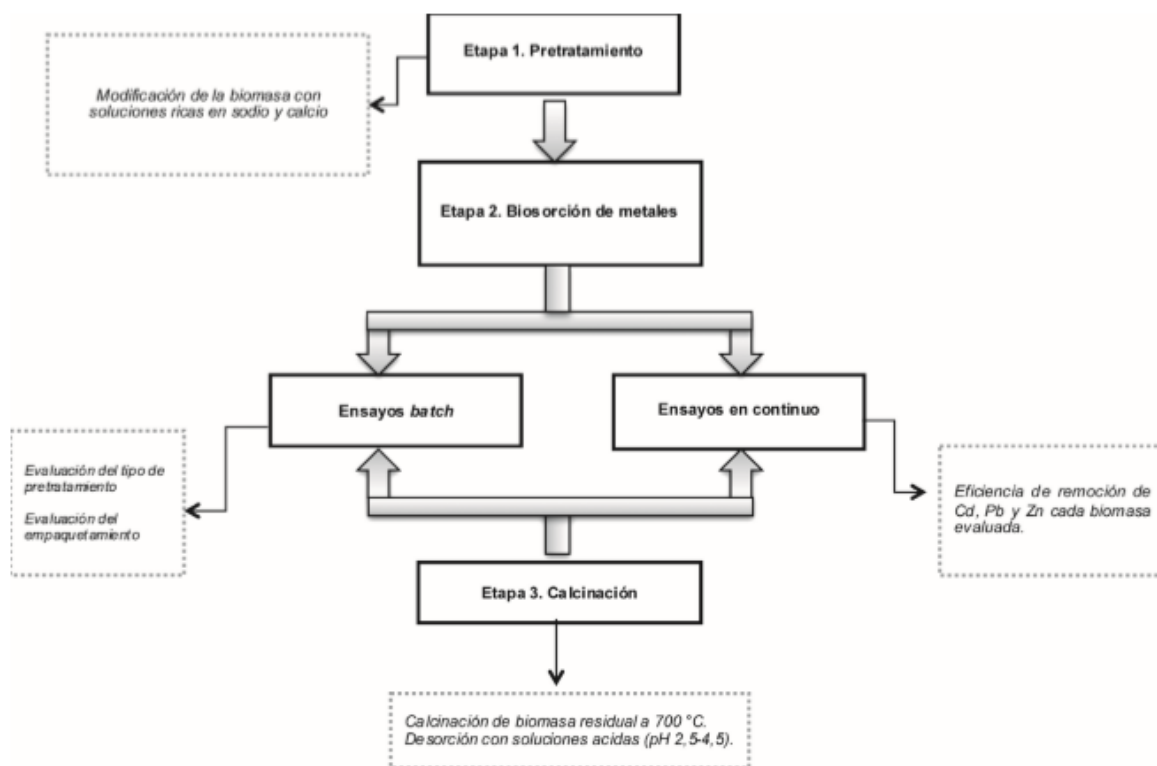


Figura3: Proceso de adsorción de metales pesados.

Fuente: (Mendoza & Natalia, 2014)

3.2.2.8 Fitorremediación

Técnica que aprovecha ciertas plantas para los contaminantes de aguas, esta técnica es una alternativa de bajo costo y sustentable. De acuerdo a (DelgadilloLópez, González-Ramírez, Villagómez-Ibarra, & Acevedo-Sandova, 2011)“La fitorremediación es un conjunto de tecnologías que reducen *in situ* o *ex situ* la concentración de diversos compuestos a partir de procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos asociados a ellas.”

Proceso	Mecanismo	Contaminantes
Fitoestabilización	Complejación	Orgánicos e inorgánicos
Fitoextracción	Hiperacumulación	Inorgánicos
Fitovolatilización	Volatilización a través de las hojas	Orgánicos e inorgánicos
Fitoimmobilización	Acumulación en la rizosfera	Orgánicos e inorgánicos
Fitodegradación	Uso de plantas y microorganismos asociados para degradar contaminantes	Orgánicos
Rizofiltración	Uso de raíces para absorber y adsorber contaminantes del agua	Orgánicos e inorgánicos

Tabla 2: Mecanismos de fitorremediación. (GHOSH & SINGH, 2005)

En la tabla 2 tenemos los procesos para el mecanismo de fitorremediación, tenemos el fitoestabilización que permite inmovilizar el contaminante a través de una absorción y precipitado en las zonas de rizoesfera. Esta se aplica para suelos extenso para contaminación superficial, y de bajo costos.

La fitoextracción absorbe los contaminantes por medios de las raíces de las plantas y su acumulación de tallos y hojas. Se hace con las plantas como las *Thlaspi caerulescens* (Cd); *Sedum alfredii*, *Viola baoshanensis* y *Vertiveria zizanioides* (Zn, Cd, Pb), *Sesbania drummondii* (Pb), etc. Estas son las más conocidas para este proceso de metales pesados.

La fitoinmovilización hace una reducción de la biodisponibilidad y sujeción de los contaminantes químicos. “La producción de compuestos químicos en la interfaz suelo-raíz, los que inactivan las sustancias tóxicas, ya sea por procesos de absorción, adsorción o precipitación.”(Carpena & Bernal, 2007).

La fitodegradación de plantas y microorganismo hace que los degrade, hasta hacer productos inofensivos como CO₂ y H₂O. Esta se emplea para la remoción de explosivos, bisfenol y organofosforados

La rizo filtración elimina el medio hídrico a través de las raíces. En las plantas se absorbe los metales pesados por medios de las raíces, si las plantas se saturan para este proceso, se van retirando para otras cosechas de otras plantas.

Esta técnica se emplea para los efluentes, permite el reciclado de recurso, no requiere de personal adecuado para su proceso, poco perjudicial al ambiente, es de bajo costo, y su tecnología es sustentable.

Capítulo IV

Resultados y conclusiones

4.1 Resultados

- De acuerdo a la presente revisión bibliográfica, se determinó que los métodos biológicos para el tratamiento de las aguas residuales en el sector minero son una opción que se deberá implementar con el tiempo de forma común en las minerías, ya que, además de ser un método con menos coste, tienen una buena contribución con el medio ambiente.
- Los tratamientos biológicos del agua, también llamados “pasivos” es una forma de utilizar la naturaleza para poder depurar las aguas residuales mineras que contienen elementos químicos tóxicos.
- Estos tratamientos no solamente son utilizados en el sector minero, sino también industrial, urbano, domestico, etc. Con la información histórica que se tiene de su implementación en muestras, se determina que si es eficaz con respecto a resultados.
- Estos tratamientos si bien es cierto son utilizados en cantidades considerables, sin embargo, algunos procesos no están aptos para la implementación en una cantidad de mayor intensidad, por ende, se plantea la combinación de estos con otras tecnologías complementarias para lograr una mayor depuración, sin alterar el origen biológico que se desea mantener.
- En cuanto a la revisión bibliográfica, la información revisada no otorgó suficiente información cuantitativa sobre los costos específicos de cada método analizado por lo cual se sugiere llevar a cabo un análisis costo-beneficio en un trabajo posterior de

investigación; la información recabada en cuando al costo solamente muestra una posible proyección del costo específico promedio.

- Obtuvimos los métodos más eficientes en este trabajo, no tenemos elección ya que estos métodos tienen procesos diferentes, pero tienen el mismo objetivo, eliminación de los efluentes y relaves mineros.
- En la siguiente se tabla se muestran los datos comparativos de los diferentes métodos revisados para poder determinar sus ventajas y desventajas de acuerdo a los diferentes factores de aplicación, implementación y operación.

Tabla 3 Ventajas y Desventajas de cada método biológico

Fuente: (Elaboración Propia)

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Geo membrana	<ul style="list-style-type: none"> • Gracias a su material de plástico o caucho, es utilizado como una barrera de líquidos o vapor. • Estabiliza y controla la erosión eólica de ciertas partículas que se hayan en los relaves mineros. • Es de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Para poder implementarlo, los metales tienen que haber pasado por un tratamiento Fitoestabilizador.
Biomasa microbiana	<ul style="list-style-type: none"> • Se emplea para la absorción de metales y su recuperación. • Se puede recuperar la biomasa íntegra después de haber sido puesta en contacto con una solución de metales. • Se pueden obtener recuperaciones destructivas y no destructivas. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se han realizado muchas pruebas en cuanto a industrias mineras por su alto costo de inversión.
Humedales	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene la intervención de elementos naturales, como es la humedad y la vegetación. • Gran capacidad de soporte de metales pesados, tóxicos como el Cd y Pb. 	<ul style="list-style-type: none"> • La duración de depuración es variable, va a depender de del desarrollo de la planta y la concentración del contaminante que tenga en su tejido.

	<ul style="list-style-type: none"> • No necesita bastante inversión 	
Electrodialisis	<ul style="list-style-type: none"> • Es eficaz en el contacto con aguas de baja salinidad. 	<ul style="list-style-type: none"> • No elimina totalmente las sales, sino un 40%.
Zeolitas	<ul style="list-style-type: none"> • Una de sus grandes propiedades es el intercambio iónico que posee, lo cual, remueve iones metálicos en aguas residuales. • Gracias a su estructura micro porosa le permite tener propiedades absorbentes, contribuyendo al tratamiento de aguas residuales. 	<ul style="list-style-type: none"> • El proceso de elaboración de la zeolita no se ha empleado en una industria minera.
Macrófitas flotantes	<ul style="list-style-type: none"> • Su eficiencia con respecto a aguas contaminadas, ha tenido un buen resultado, remediando elementos como Zn, Cu, Cr, entre otros. • Son varias especies de plantas que se podrían emplear. 	<ul style="list-style-type: none"> • Aún no se tiene bien establecido el proceso de depuración para las aguas residuales.
Algas rojas, cáscara de naranja y tuna	<ul style="list-style-type: none"> • Se puede determinar qué porcentaje de algas, cáscara y tuna se debe utilizar por medio de un ensayo Batch, para la remoción de metales tóxicos. • Es de bajo costo. 	<ul style="list-style-type: none"> • No se ha realizado en una industria minera, ni en grandes cantidades.
Fitorremediación	<ul style="list-style-type: none"> • Utiliza plantas y microbios del suelo para minimizar las concentraciones de contaminantes. • Es amigable con el medio ambiente. • Su aplicación es alta y su costo es bajo. 	<ul style="list-style-type: none"> • Su elaboración para con una industria minera no se ha desarrollado.

4.2 Conclusiones y Recomendaciones

- Según la bibliografía revisada, es posible utilizar métodos biológicos para la depuración de aguas residuales en el sector minero teniendo resultados eficientes con respecto a ciertos métodos; esto de acuerdo a la información secundaria que se pudo encontrar de las diferentes fuentes de información secundaria donde se puede justificar que es factible poder utilizar estos métodos para el tratamiento de las aguas residuales.
- Los tratamientos biológicos contribuyen a que las industrias mineras vayan de la mano con el medio ambiente, reduciendo sus altos niveles de contaminación. Los tratamientos biológicos del agua, también llamados “pasivos” es una forma de utilizar la naturaleza para poder depurar las aguas residuales mineras que contienen elementos químicos tóxicos.
- Concluimos, que podemos sustituir los tratamientos químicos, con los tratamientos convencionales ya investigados en este trabajo, que son de bajo costos, con un resultado favorable con el ambiente y los pobladores del sector aledaño.
- Contribución de métodos de bajos costos. Algunos procesos biológicos no son tan eficaces por si solos, por ello, se plantea combinar tecnologías con estos procesos para la optimización de estos tratamientos. Muchos de los métodos poseen diversas ventajas y desventajas como se observar en la tabla N° 3, donde se detalla esta información, lo cual indica que dependiendo del caso y la necesidad alguno u otro método podría ser de mejor o mayor beneficio económico, además del técnico y operativo, por lo cual su impacto económico siempre será positivo pero variable.

- De acuerdo a los resultados de laboratorio en varias investigaciones podemos concluir que efectivamente los tratamientos biológicos son eficaces en la depuración de las aguas residuales, teniendo un 95% - 98% de eliminación.
- El presente trabajo de investigación debería servir para poder llevar a cabo un análisis más exhaustivo sobre los diferentes métodos de tratamiento para de efluentes del sector minero, para poder identificar especialmente los costos relacionados a los mismos, ya que, la información recabada no resultó ser relevante en cuanto a los aspectos económicos de los métodos.
- De acuerdo a los métodos revisados y análisis comparativo de los mismos, el método de Geo membrana es una de los métodos con mayor información completa ya que es un método que se ha aplicado en diferentes minas dentro del país (Perú) como por ejemplo la mina de Huaron, Atacocha y Casapalca dando a un sembrío de alimentos por cosecha. A diferencias de los otros métodos de tratamientos biológicos, la información es un poco escasa por lo cual no tenemos datos para poder saber cuándo ni cuanto se han invertido o en qué lugares en el Perú han hecho pruebas y que resultados nos dan. Por eso elegimos el de geomenbrana ya que nos da el sitio en donde se ha propuesto esta técnica dando resultados óptimos y visibles.

Referencias

MINISTERIOS DEL AMBIENTE. *Glosario de Términos*. Direccion General de Calidad Ambiental, Lima.

A. Romero, A., L. Flores, S., & Arévalo, W. (2010). *Tratamiento de efluentes de la industria minera con dolomita*. Lima .

Acevedo Cifuentes, D. R., Builes Felizzola, S. M., Ordoñez Ante, A., & López Sánchez, I. J. (2011). Evaluacion de la eficiencia de una bateria de filtros empacados en zeolita en la remocion de metales pesados presentes en un licor mixto bajo condiciones de laboratorio. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 10 (18), 31-42.

ÁLVAREZ, J. D. (2013). *TRATAMIENTO BIOLÓGICO COMO ALTERNATIVA PARA DISMINUIR EL IMPACTO AMBIENTAL OCASIONADO POR EL DRENAJE ÁCIDO, GENERADO POR LA ACTIVIDAD MINERA EN EL MUNICIPIO DE MARMATO- CALDAS*. Colombia.

Banco Mundial y Programa de Asistencia Técnica al Ministerio de Eneqía y Minas del Perú. (2018).

Camacho, N. C. (2011). *Tratamiento de agua para consumo humano*. Lima.

CAÑIZARES-VILLANUEVA, R. O. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana.

Carpena, R. O., & Bernal. (2007). *Claves de la fitorremediación: fitotecnologías para la recuperación de suelos*.

Castrillón Trujillo, V. N. (2016). *Evaluación de la fitorremediación como alternativa para el tratamiento de Aguas Residuales contaminadas con Mercurio Producto de la Minería Aurífera (artesanal y pequeña escala)*. Manizales.

Curi, A., Granda, W., M. Lima, H., & T.Sousa, W. (2006). *Las Zeolitas y su Aplicación en la Descontaminación de Efluentes Mineros*. Ouro: Universidade Federal de Ouro Preto, Departamento de Engenharia de Minas, Escola de Minas.

Daphne, L. (1994). *Residuos orgánicos peligrosos susceptibles de tratamiento biológico*. En *Biotecnología para el tratamiento de residuos peligrosos*.

Delgadillo, O. C., Pérez, L. F., & Andrade, M. (2010). *Depuración de aguas residuales por medio de humedales artificiales*. Cochabamba-Bolivia.

DelgadilloLópez, A. E., González-Ramírez, é. A., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandova, O. (2011). *Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación*. Mexico.

Deloya Martinez, A. (2012). Tratamiento de desechos del cianuro por biorremediacion. *Tecnologia en marcha* , 61-72.

Diaz Alvarez, J. (2013). Tratamiento biologico como alternativa para disminuir el impacto ambiental ocasionado por el drenaje acido , generado por la actividad minera en el municipio de Marmato-Caldas. Manizales.

Duque Sarango, A. (2016). *EVALUACION DE LA DEGRADACION DE ARSENICO CON CEPAS BACTERIANAS AISLADAS DE RELAVES MINEROS, EN EL CANTON PONCE ENRIQUEZ. RIOBAMBA*.

Gadd, T. d. (1998). *Principios básicos involucrados en la eliminación/ recuperación de metales de soluciones acuosas por biomasa microbiana o productos derivados*. .

Garcés Giraldo, L. F., Mejía Franco, E. A., & Santamaría Arango, J. J. (s.f.). La Fotocatálisis como alternativa para el tratamiento de aguas residuales. *Semillero de investigacion en Gestion y Medio Ambiente SIGMA* , 1-10.

GHOSH, & SINGH. (2005). *Mecanismo de fitorremediación*.

- Guerrero Rojas, J. (2013). Cianuro: Toxicidad y Destrucción Biológica. *BIOMTEK ResearchGate*.
- Huerga Pérez, E. (2005). *DESARROLLO DE ALTERNATIVAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES MEDIANTE EL USO DE TECNOLOGIAS LIMPIAS DIRIGIDAS AL RECICLAJE Y/O VALORACIONES DE CONTAMINANTES*. Valencia: Universitat de Valencia.
- Jaraba, L. E., & S. C. Coavas Romero. *Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (Citrus sinensis) modificada con quitosano para la remoción de Cr(VI) en aguas residuales*. Colombia: Universidad de Cartagena.
- LEDESMA VELITA, W. J. (2018). *PROPUESTA DE TRATAMIENTO DEL DEPÓSITO DE RELAVES DE QUIULACocha-PASCO PARA SU REMEDIACIÓN AMBIENTAL, BASADA EN EXPERIENCIAS EXITOSAS EN EMPRESAS MINERAS*. Pasco, Perú.
- Martinez, D. Z. (2017). *Problemática y soluciones para la gestión y tratamientos de salmueras procedentes de desaladoras*. Chile.
- Mendoza, L. V., & Natalia, F. M. (2014). BIOSORCIÓN DE Cd, Pb y Zn POR BIOMASA PRETRATADA DE ALGAS ROJAS, CÁSCARA DE NARANJA Y TUNA.
- Pacheco Gutierrez, L. A., & Durán Dominguez, M. d. (2007). Uso del agua en la industria minera. Parte 2: Estudio de opciones para reciclar el agua de proceso. *Tecnología, Ciencia Ed.*, 15-29.
- Pacheco-Gutiérrez, L. A. (2007). *Uso del agua en la industria minera. Parte 2: Estudio de opciones para reciclar el agua de proceso*.
- Puente, I., Laguela, S., Veiga, M., & Pozo, J. S. (2017). Tratamiento microbiano de aguas ácidas resultantes de la actividad minera: una revisión.

Rubio, A., Chica, E. L., & Peñuela, G. A. (2013). Procesos de Tratamiento de aguas residuales para la eliminación de contaminantes orgánicos emergentes. *Revista Ambiente y Agua* .

Teichert, S. C., & Platzer, W. (2017). *Estudio de tecnologías de tratamiento de agua residual y concentración en la industria.*

Tejada Tovar, C. V., & Garcés Jaraba, L. (2014). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico.* Cartagena.

Tuya Salas, J. D. (2014). *EVALUACION DE LA CAPACIDAD DEGRADATIVA DE CIANURO POR BACTERIAS ALCALOFILAS AISLADAS DE LOS RELAVES DE LA PLANTA CONCENTRADORA DE METALES MESAPATA CATAAC - ANCASH.* LIMA.

Villabona Ortiz, Á., Tejada Tovar, C., & Garcés Jaraba, L. (2014). *Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico .*

VILLASANTE/HUAHUACONDORI, F. R. (2014).

Apéndices

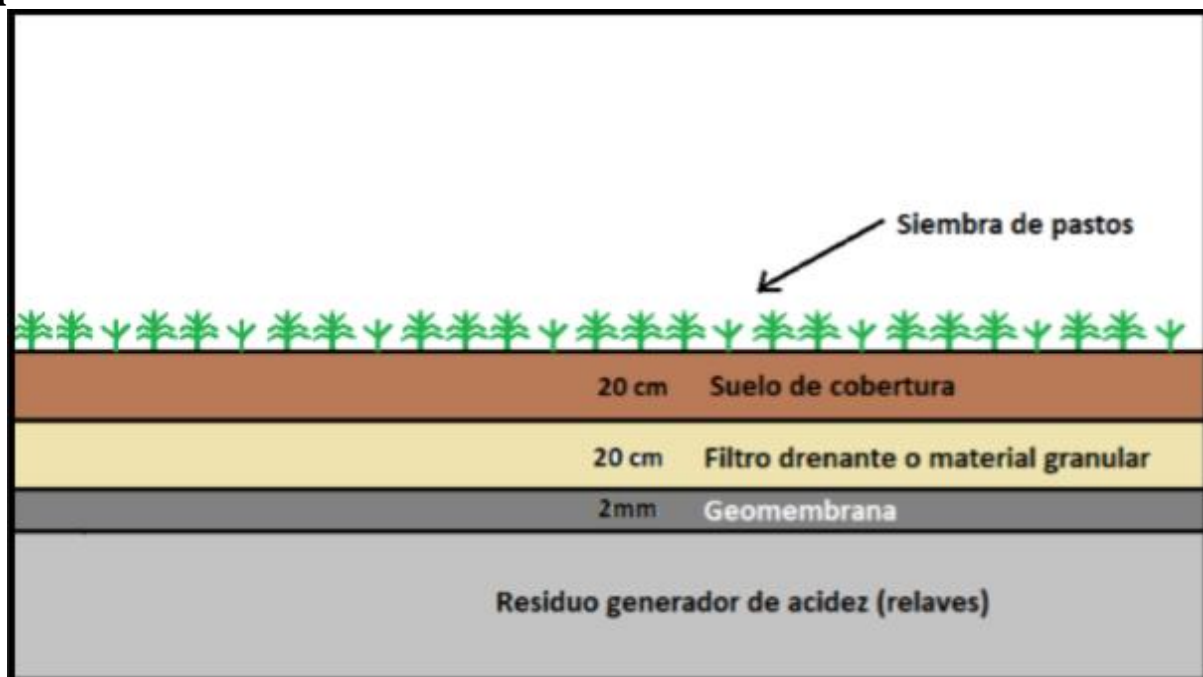


Figura 6: *Capas del proceso de encapsulamiento y revegetación*

Elaboración: de Julio Ledesma Velita

<i>Técnica</i>	<i>Aplicación</i>	<i>Ventajas</i>	<i>Desventajas</i>
Adsorción en la interfase líquido-gas	Remoción de sustancias orgánicas tensoactivas (sulfatos de alquilo)	Operación sencilla y en concentrado puede ser recirculado	Requiere equipo de dimensiones grandes
Adsorción con carbón activado	Remoción de casi todos los compuestos orgánicos	Una sola etapa de remoción de compuestos orgánicos y los adsorbentes pueden ser recuperados	Requiere unidades especiales para la regeneración del carbón activado
Adsorción con lodo mineral	Remoción de los iones metálicos y algunos compuestos orgánicos dependiendo en la composición del lodo	Uso adecuado de los lodos generados en las operaciones	Las cantidades removidas pueden no ser satisfactorias
Precipitación química	Remoción de metales alcalinos y metales pesados	Rápida	Requiere un control cuidadoso de los reactivos
Oxidación biológica	Remoción de materia orgánica biodegradable	Potencialmente barato usando un tanque de lodos de origen microbiano	Operación lenta, acondicionamiento posterior requerido
Oxidación química	Transformación de las moléculas de alto peso molecular a bajo peso molecular	La mayoría de los compuestos orgánicos son oxidados y no tiene problemas de manejo	Costo de capital
Resinas de intercambio iónico	Remoción de las especies iónicas	Las resinas pueden regenerarse si el proceso se realiza en columnas	Costo de capital. Bajo punto de saturación
Ósmosis inversa	Remoción de electrolitos	Todas las especies catiónicas y aniónicas se remueven en una sola etapa	Problemas de mantenimiento y es necesaria una remoción previa de compuestos orgánicos
Congelamiento atmosférico	Remoción de electrolitos y compuestos orgánicos	Todas las impurezas pueden removerse y no es necesario el uso de reactivos químicos	Depende de las condiciones climáticas y dificultades en el diseño

Figura 7: : *Técnicas utilizadas para efluentes minero*

Elaboración; Rao y Finch, 1998

