



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Ambiental

“Fitorremediación de aguas sulfatadas”

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería Ambiental

Autores:

Silvia Yuliana Orrillo Carranza

Leyla Melita Quiroz Abanto

Asesor:

Mtr. Mblgo. Luis Felipe Valdez Núñez

Cajamarca - Perú

2018

DEDICATORIA

A nuestros padres quienes con su
Apoyo incondicional nos animan
a conseguir nuestros objetivos en esta vida.

A nuestros hermanos, y demás familiares, que
siempre están apoyándonos y ayudándonos a
superar nuestros miedos y limitaciones para así
cumplir nuestros objetivos.

Y a Dios quien no deja de cuidarnos y protegernos
en todo momento siempre y en cualquier lugar
donde nos encontremos.

“FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS SULFATADAS” AGRADECIMIENTO

Agradecemos de manera fraterna a nuestros familiares y en especial a nuestros padres por su apoyo económico y moral durante el desarrollo de nuestros estudios y formación universitaria

A nuestros amigos quienes con sus consejos, estima e ideas importantes han contribuido a nuestro desarrollo en esta etapa de nuestras vidas.

Agradecemos también a la Universidad Privada del Norte por la formación implantada y a nuestros profesores, quienes nos brindaron parte de su tiempo y las facilidades para desarrollar el presente proyecto de tesis, en especial a nuestro docente asesor Felipe Valdéz Nuñez, quien nos ha demostrado durante este tiempo interés, entrega y aprecio.

Tabla de contenido

DEDICATORIA	2
AGRADECIMIENTO	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	10
CAPÍTULO III. RESULTADOS	15
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	24
REFERENCIAS	27
ANEXOS	30

“FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS SULFATADAS”
ÍNDICE DE TABLAS

“FITORREMEDIACIÓN DE AGUAS SULFATADAS”
ÍNDICE DE FIGURAS

RESUMEN

En la presente revisión sistemática se describe los resultados obtenidos a partir de una búsqueda teórica que tuvo como objetivo es identificar información acerca del tema de fitorremediación en aguas sulfatadas y realizar. Se llevó a cabo una revisión sistemática, por medio de la técnica de selección bibliográfica y el uso de una estrategia de búsqueda rigurosamente definida.

La muestra estuvo compuesta por 200 artículos, investigaciones relacionadas y otros documentos relevantes que se asemejan a nuestro proyecto de investigación, identificados a través de una base de datos, Scielo, Redalyc, Google Académico, producidas entre el año 2013 y 2017.

10 estudios relevantes fueron identificados, dichos resultados obtenidos permiten identificar los avances en términos de investigación basados en teorías y experimentos; criterios, estrategias e instrumentos de evaluación fitorremediadora en diferentes tipos de aguas, con diferentes plantas, a fin de realizar los análisis de cada una de ellas.

Los estudios ya identificados respaldan una relación entre fitorremediación con diferentes tipos de plantas y diferentes tipos de aguas, los estudios observados son muy importantes para el desarrollo de esta investigación, los cuales pueden ser fácilmente integrados en los estudios de campo.

PALABRAS CLAVES: Tratamiento de agua, Fitorremediación, Aguas Sulfatadas.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Uno de los rasgos característicos de la sociedad moderna es la creciente emisión al ambiente de sustancias contaminantes, destacando aquellas que proceden de las actividades industriales, mineras, agropecuarias, artesanales y domésticas. Estos compuestos representan una amenaza para los seres vivos, por lo que se han desarrollado una serie de métodos para enmendar el impacto causado. Los métodos convencionales suelen ser costosos y pueden afectar de manera irreversible las propiedades del suelo, agua y de los seres vivos que en ellos habitan (Padmavathiamma y Li, 2007).

El aumento de los costos y la limitada eficacia de los tratamientos fisicoquímicos han estimulado el desarrollo de nuevas tecnologías. Por lo que, la fitorremediación representa una alternativa sustentable y de bajo costo para la rehabilitación de ambientes afectados por contaminantes naturales y antropogénicos (Singh y Jain, 2003; Reichenauer y Germida, 2008).

La fitorremediación utiliza las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes (Kelley et al, 2000; Miretzky et al., 2004; Cherian y Oliveira, 2005; Eapen et al., 2007; Cho et al., 2008).

Las aguas sulfatadas son originadas de manera natural. Cuando las rocas que contienen minerales sulfatados se extraen a cielo abierto o en vetas en minas subterráneas, estos materiales reaccionan con el aire o con el agua para formar ácido sulfúrico. El ácido lixivia la roca fuente mientras esté expuesta al aire y al agua. Este proceso se mantiene en el tiempo y puede durar cientos de años, hasta que los sulfatos sean extraídos completamente. El ácido es transportado desde la mina por el agua, las lluvias o por

corrientes superficiales y, posteriormente, depositado en los estanques, arroyos, ríos, lagos y mantos acuíferos cercanos, degradando severamente la calidad del agua; además, puede aniquilar la vida acuática (Gamonal 2012).

En esta revisión se hace un análisis de las diversas tecnologías de fitorremediación, así como del papel que juega la próxima generación de plantas para la remediación, prevención y reducción de la contaminación en los diferentes sectores del ambiente.

Estudiar las ventajas y facilidades en que actúa la técnica de fitorremediación es importante para remover aguas sulfatadas en la actualidad, que se producen como en minas de carbón, entre otras.

El presente proyecto presenta como objetivo: identificar información acerca del tema de fitorremediación en aguas sulfatadas y como objetivo específico realizar la recopilación de información bibliográfica acerca del tema de fuentes confiables.

Como justificación se tiene que la revisión sistemática de información es muy importante para conocer un poco más sobre la aplicación de la técnica de fitorremediación, para saber el procedimiento de la aplicación y en qué condiciones se podría aplicar y así informarnos más de otros estudios hechos relacionados con el tema, para saber cómo aplicarlo en nuestro proyecto.

¿Qué se conoce de la técnica de fitorremediación de aguas sulfuradas en Cajamarca en el año 2018?

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

CRITERIO DE SELECCIÓN

El criterio de selección fue todos los estudios, investigaciones, artículos y otros documentos relevantes que fueron publicados en el idioma español, portugués e inglés, el procedimiento de búsqueda consistió en términos relacionados con palabras clave.

palabras clave: “Tratamiento de agua”, “Fitorremediación”, “Aguas Sulfatadas”

RECURSOS DE INFORMACION

Buscamos información en Redalyc., Google académico, Scielo. El procedimiento de búsqueda consistió en términos relacionados con conceptos clave. Las listas de referencias de artículos, investigaciones relacionadas y otros documentos relevantes, los cuales dichas fuentes fueron buscadas manualmente. El protocolo de estudio fue registrado en la **base de datos**.

CRITERIO DE ELIGIBILIDAD

Los estudios revisados comparten varias limitaciones. Si bien nuestro enfoque sistemático intentó capturar todos los estudios desde el año 2007 hasta 2017, puede haber estudios adicionales que no se identificaron. Solo encontramos 10 estudios elegibles con estudios relacionados con fitorremediación en aguas sulfatadas; en comparación con temas que abordan generalmente estudios de fitorremediación y en diferentes tipos de aguas.

Base de datos

Sumatoria	Keyword	Buscador	Accesibilidad	Autores	País	Año	Tipo de estudio	¿Cómo se realizó la medición? (instrumento)
1	Aguas sulfuradas	Redalyc	Abierto	Campos, A., & Ulloa, Mayda.	Venezuela	2016	Investigación de tipo descriptiva, exploratoria de campo, con un diseño no experimental.	Se tomaron muestras de agua en superficie, medio y fondos de los cuerpos de agua , en 3 áreas fueron sometidas análisis básico, gravimétrico, volumétrico, colorimétrico.
2	Sulfatos	Redalyc	Abierto	Graniel, E., Pacheco, A., & Coronado, V.	México	2009	Tipo experimental debido a que han estudiado empíricamente los monitoreos de los pozos.	Se monitorearon 19 pozos profundos en junio y septiembre de 1997, como localizados al sur de la tierra de Ticul
3	Aguas sulfatadas	Redalyc	Abierto	Aguilera, I., Pérez, R., & Marañón, A.	Cuba	2010	El trabajo de investigación tiene un diseño experimental descriptivo .	Se realizaron ensayos de la recuperación de muestras y se comparan con los resultados

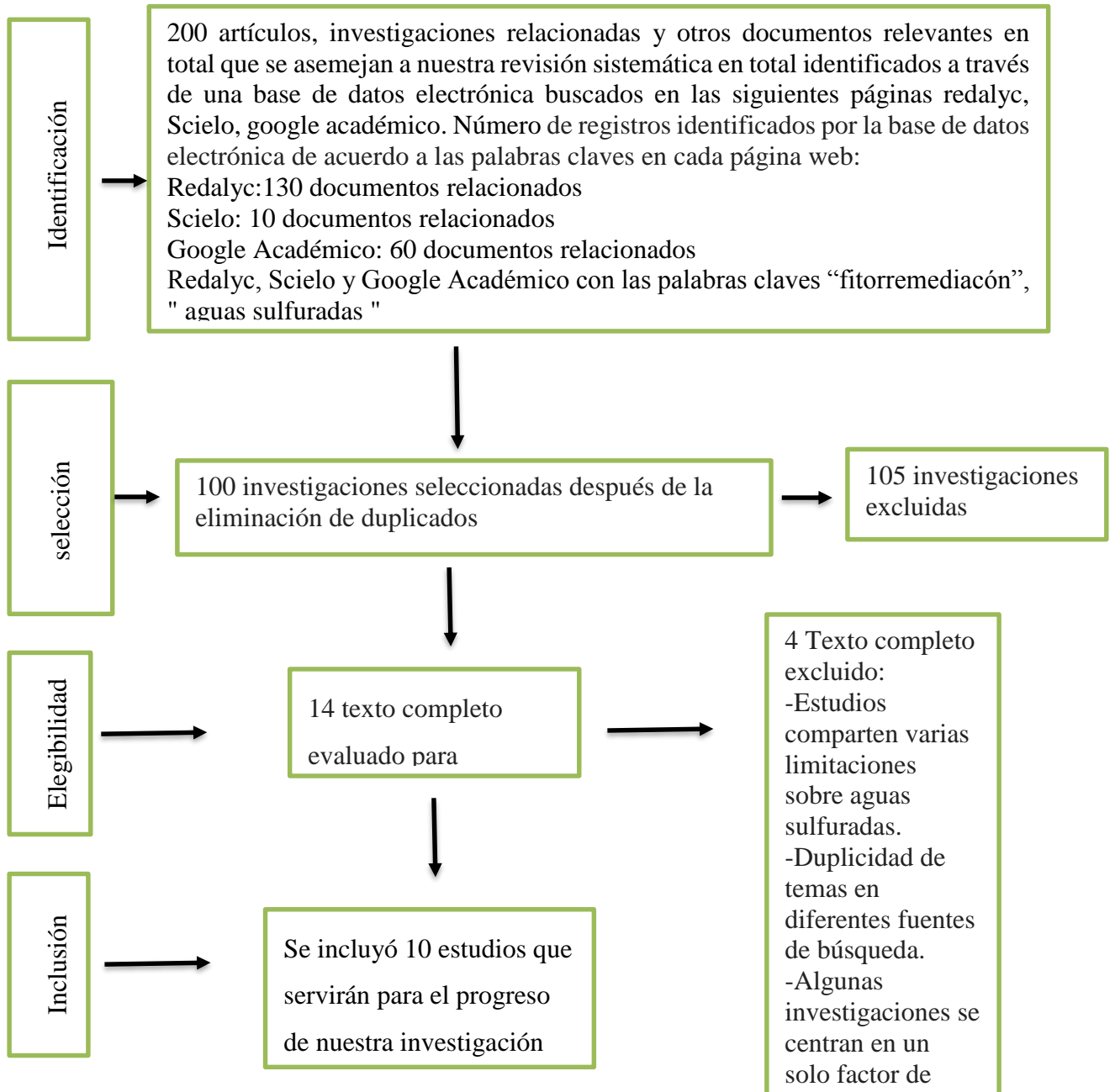
								obtenidos en muestras residuales industriales con los reportados por un laboratorio de referencia a través de pruebas de hipótesis, pruebas de FISHER y test de Student .
4	Tratamiento de aguas sulfatadas	Redalyc	Abierto	Silva, R., Rubio, J., & Bauer, M.	Brasil	2011	El diseño experimental de la metodología aplicada consistió en general en experimentos.	Se analizaron las concentraciones de iones de sulfato y cloruro mediante pruebas de cromatografía iónica.
5	Fitorremediación	Redalyc	Abierto	Delgadillo, A., et all.	México	2011	Diseño de estudio cualitativo no experimental ya que solo describe información de	Se realizó mediante la presentación de información sobre las interacciones plantas -microorganismos en el proceso de fitorremediación.

							fitorremediación y tecnologías relacionadas.	
6	Fitorremediación	Redalyc	Abierto	Cubillos,J., et al.	Colombia	2014	Tipo de estudio descriptivo no experimental.	Revisión de los principios relacionados por la fitorremediación de suelos y aguas contaminadas con hidrocarburos .
7	Especies Fitorremediadoras	Google académico	Abierto	Poveda, R.	Ecuador	2014	Tipo de estudio experimental ya que se hicieron varias pruebas.	La analizó el porcentaje de las muestras de agua en las especies acuáticas tomando datos semanales del número de hojas verdes.
8	Estrategias de fitorremediación	Scielo	Abierto	Olguín,J., Hernández,M., & Sánchez, G	México	2007	Tipo de estudio no Descriptivo no experimental	Se han investigado las estrategias bioestimulación y de bioaumentación en la mayoría de

								suelos contaminados por hidrocarburos.
9	Sulfatadas	Google académico	Abierto	Millán,C.	Chile	2008	Tipo de estudio experimental.	La investigación tuvo una duración de tres meses durante los cuales se diseñó y se implementó un sistema de fitorremediación.
10	Humedales artificiales	Google académico	Abierto	Arias,S., et all.	Colombia	2010	Tipo de estudio experimental.	Consistió en el diseño e implementación de un sistema de humedales artificiales para el tratamiento de las aguas residuales de la unidad productiva de cerdos del Centro de los Recursos Naturales Renovables La Salada, basado en un ensayo piloto de fitorremediación.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

1. SELECCIÓN DE ESTUDIOS



2. CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS INCLUIDOS

Estudio	Título	Variables analizadas	Fitoremediación empleada	Tipo de agua tratada	Resultados
Campos, A., & Ulloa, Mayda.	Tratamiento de aguas sulfatadas de origen superficial producidas por una mina de carbón a cielo abierto	sólidos suspendidos, DBO, DQO, nitrógeno, fósforo, patógenos y metales pesados	Humedal aeróbico como el más eficiente para la remoción de sulfatos	Aguas sulfatadas provenientes de la mina	Los resultados obtenidos permitieron determinar que el método terciario más indicado para el tratamiento de las aguas sulfatadas en la mina caso de estudio es el pasivo biótico, de tipo humedal aeróbico, debido a que son característicos para flujos superficiales
					De acuerdo a los datos obtenidos durante el trabajo de campo

<p>Graniel, E., Pacheco, A., & Coronado, V.</p>	<p>Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán</p>	<p>Sulfatos en el agua subterránea y evaluar su comportamiento temporal y espacial</p>	<p>Se recolectaron muestras de agua, a las cuales se le determinó temperatura y conductividad eléctrica y los iones mayores</p>	<p>Agua subterránea</p>	<p>(Tabla 1 y 2), se tiene que la dirección del flujo subterráneo en la zona de estudio es de sureste a noroeste en dirección paralela a la Sierrita de Ticul; presentando en junio cargas piezométricas entre 0.99 y 2.05 m y en septiembre entre 1.17 a 2.24 m, teniendo una diferencia de las cargas potenciales estables de 0.20 m en promedio en los pozos.</p>
	<p>Determinación de sulfato por el</p>	<p>Determinación de sulfatos por el método</p>			<p>El protocolo que hay que seguir para la realización de la</p>

<p>Aguilera, I., Peréz, R., & Marañón, A.</p>	<p>método turbidimétrico en aguas y aguas residuales. validación del método</p>	<p>turbidimétrico, mediante la determinación de los parámetros: linealidad, exactitud, límites de detección y de determinación.</p>	<p>Método turbidimétrico en aguas</p>	<p>Aguas residuales</p>	<p>determinación de iones sulfato en disolución, requiere de una disolución acondicionadora que contiene glicerina y alcohol de forma que se modifica la viscosidad de la muestra, permitiendo así una turbidez estable en un período de tiempo suficiente para medir la misma.</p>
<p>Silva, R., Rubio, J., & Bauer, M.</p>	<p>El problema de la remoción de iones sulfato en el reuso de aguas tratadas de dam's</p>	<p>Remoción ineficiente de los iones sulfato</p>	<p>Estudios experimentales de eliminación por proceso PF-SL- precipitación-floculación y</p>	<p>Efluentes ácidos de la minería de carbón (DAM)</p>	<p>El lodo generado en pH 4,5 presenta altos niveles de aluminio que pueden ser recuperados (lixiviados) y usados como elemento para otras</p>

	en Brasil		sedimentación laminar a nivel de banco y piloto		finalidades (producción de coagulantes, incorporación en materiales cerámicos, etc.), reduciendo el costo global de tratamiento y posibilitando la aplicación
Delgadillo, A., et all.	Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación	contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos como: metales pesados, metales radioactivos, compuestos orgánicos y compuestos	Plantas transgénicas	Aguas superficiales	La fitorremediación es una tecnología cuyo objetivo principal es la eliminación de metales tóxicos y contaminantes orgánicos (en suelo, aire, agua y sedimentos).

		derivados del petróleo.			
Cubillos,J., et all.	Fitorremediación en Aguas y Suelos Contaminados con Hidrocarburos del Petróleo	Aguas y suelos mezclados con combustibles	Interacción de microorganismos, plantas y procesos físicos, químicos y biológicos que ocurren en los sistemas naturales como los humedales.	Aguas contaminadas con hidrocarburos	Se discuten algunas experiencias en la temática, los factores que inciden y los mecanismos que dominan la remoción de estos compuestos orgánicos.
Poveda, R.	Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación	Potencial como especies fitorremediadoras.	Especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial	Agua residuales	Los humedales artificiales son sistemas de Fitodepuración de aguas residuales. El sistema consiste en el desarrollo de un

	de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón ambato, provincia de tungurahua				cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de una grava impermeabilizadora.
Olguín,J., Hernández,M., & Sánchez, G	Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación,	contaminación de manglares por derrames de petróleo a nivel mundial y en México.	biorremediación, fitorremediación y restauración que permiten dar una respuesta a corto y mediano plazo.	Agua en manglares	La información más actual indica que la estrategia de bioestimulación, complementada con aireación,

	fitorremediación y restauración				es una de las mejores opciones de tratamiento.
Millán,C.	Remoción de sulfato en riles mediante el uso de fitorremediación	efectividad de un sistema de fitorremediación en la remoción de sulfatos.	Las especies vegetales utilizadas para el tratamiento fueron Cyperus eragrostis, Carex sp. Y Typha angustifolia	agua por disolución natural de rocas sulfatadas, por descargas de residuos industriales y a través de deposiciones atmosféricas.	Se observó que la especie que obtuvo un mayor índice de remoción de sulfato fue la especie Carex sp. Siendo además esta especie la que presentó los mejores resultados, tanto por su resistencia a los altos niveles de sulfato, como por la estabilidad de su comportamiento durante todo el período de análisis.

Arias,S., et all.	Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas.	La efectividad de los humedales para reducir la carga contaminante	Humedales artificiales	Aguas residuales	Los porcentajes de remoción de contaminantes obtenidos en el sistema de tratamiento por humedales en un mes de funcionamiento fueron eficientes.
-------------------	---	--	------------------------	------------------	--

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Discusión

Esta revisión sistemática se analizó los diferentes estudios. El objetivo fue realizar un análisis de la base de datos sobre el tema de fitorremediación en aguas sulfatada. A continuación, se destacan algunos aspectos considerados importantes y se analizan algunas implicaciones para la investigación.

Fueron identificados 10 estudios que respetaban los criterios establecidos para su revisión. Se observó en los estudios que la fitorremediación se hace con diferentes tipos de humedales y con diferente tipo de agua.

En la base de datos podemos encontrar estudios empíricos que son investigaciones experimentales y muy pocos de naturaleza explorativa. En diversos trabajos donde se describen investigaciones, los instrumentos elaborados para las investigaciones, no siempre presentan datos psicométricos necesarios y resultados precisos que permitan juzgar y evaluar correctamente las variables objeto de análisis.

Hay diferentes tipos de humedales que presentan los estudios en función del tipo de agua. Los estudios incluidos presentan intervalos de fitorremediación en aguas subterránea, residuales, sulfatadas, superficial, efluentes ácidos de la minería de carbón, aguas contaminadas con hidrocarburos.

Sin embargo, en algunos estudios revisados comparten ciertas limitaciones. El estudio del contenido de la fitorremediación en aguas sulfatadas no siempre presento buenas correlaciones con la fracción de fitorremediación en aguas. Los factores de fitorremediación que son (sistemas de humedades y tipo de agua). En general los valores de fitorremediación para aguas sulfatadas, subterráneas, superficiales, residuales fueron

de mayor eficiencia, indicando así una mayor absorción de humedales artificiales en aguas residuales.

Existen limitaciones en algunos estudios en sí. Si bien nuestra revisión sistemática intentó capturar todos los estudios relevantes independientemente de la fecha, el estado de la publicación o el idioma, puede haber estudios adicionales que no se identificaron por motivo tienen que ser pagados. Solo encontramos 10 estudios elegibles; en comparación con los estudios relacionados con Biorremediación, el número es relativamente grande. Nuestra búsqueda teórica fue limitada debido a la carencia de estudios o investigaciones locales y nacionales acerca del tratamiento de aguas sulfatadas a pesar que es un problema de contaminación de aguas.

Conclusiones

En esta revisión sistemática se sintetizaron los 10 estudios centrados en la fitorremediación de aguas sulfatadas y escritos en la base de datos. Se observa posibles soluciones en las publicaciones e investigaciones de diversos autores acerca del tema de fitorremediación de aguas sulfatadas. No obstante, los resultados encontrados son importantes, para el desarrollo de esta investigación.

Estos estudios deben ser adaptados a las diferentes localidades que se quiere implementar estos estudios de fitorremediación. La contaminación de aguas por sulfatos y otros elementos es uno de los problemas ambientales que más preocupa. La caracterización, evaluación y purificación de agua.

Los 10 estudios aquí expuestos para su evaluación, así como los criterios de los diferentes autores en sus respectivas investigaciones, son solo aproximaciones al estudio real

propuesto en esta investigación. Son también necesarios estudios nacionales que analicen, por ejemplo, elementos tóxicos existen en el agua, en qué cantidad están biodisponibles, cómo pueden pasar a la cadena trófica, cuál es el riesgo para la salud humana y otros ecosistemas, hasta qué punto podemos admitir un cierto nivel de contaminación en el agua determinado para un uso en que exista posibilidad de transferencia al organismo.

Estas son algunas de las dudas que a través de diferentes investigaciones probablemente tendrán respuestas en no mucho tiempo.

Se espera que este trabajo de revisión sistemática contribuya con algunas solucionar problemas sobre contaminación de aguas por diferentes metales, también a vincular objetos de estudio distintos, así como diseños metodológicos diferentes para seguir construyendo conocimiento en torno a fitorremediación de aguas sulfuradas, fortalecer esta y otras líneas de investigación asociadas.

REFERENCIAS

- Aguilera, I., Pérez, R., & Marañón, A. (2010). Determinación de sulfato por el método turbidimétrico en aguas y aguas residuales. validación del método. En la revista cubana de química. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=443543720007>
- Arias,S., et all.(2010). Fitorremediación con humedales artificiales para el tratamiento de aguas residuales porcinas. En la revista Portal. Recuperado de: http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/5/5
- Campos, A & Ulloa, M. (2016). Tratamiento de aguas sulfatadas de origen superficial producidas por una mina de carbón a cielo abierto. En la revista Minería & Geología. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=223548649011>
- Cubillos,J., et all.(2014). Fitorremediación en Aguas y Suelos Contaminados con Hidrocarburos del Petróleo. En la revista Ingeniería y Competitividad. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=291331195011>
- Delgadillo, A., et all.(2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. En la revista Tropical and Subtropical Agroecosystems.Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93918231023>
- Graniel, E., Pacheco, A.,& Coronado,V.(2009). Origen de los sulfatos en el agua subterránea del sur de la sierrita de Ticul, Yucatán. En la revista Ingeniería. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=46713055005>

- Kelley, C, Gaither, K. K., Baca-Spry, A., Cruickshank, B. J. 2000. Incorporation of phytoremediation strategies into the introductory chemistry laboratory. Chem Educator. 5:140-143.
- Millán,C.(2008). Remoción de sulfato en riles mediante el uso de fitorremediación. (Tesis de título). Universidad de Chile, Chile. Recuperado de http://repositorio.uchile.cl/bitstream/handle/2250/103271/millan_ct.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- Olguín,J., Hernández,M., & Sánchez, G (2007).Contaminación de manglares por hidrocarburos y estrategias de biorremediación, fitorremediación y restauración. En Revista internacional de contaminación ambiental. Recuperado de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992007000300004&script=sci_arttext&tlng=en
- Poveda, R. (2014). Evaluación de especies acuáticas flotantes para la fitorremediación de aguas residuales industrial y de uso agrícola previamente caracterizadas en el cantón ambato, provincia de Tungurahua. (Tesis de título). Universidad Técnica de Ambato, Ecuador. Recuperado de <http://repositorio.uta.edu.ec/bitstream/123456789/8455/1/BQ%2056%20.pdf>
- Padmavathiamma, P. K., Li, L. Y. 2007. Phytoremediation Technology: Hyperaccumulation Metals in Plants. Water, Air, & Soil Pollution. 184: 105-126.

- Silva, R., Rubio, J., & Bauer, M. (2011). El problema de la remoción de iones sulfato en el reuso de aguas tratadas de dam's en Brasil. En la revista Holos. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=481549218002>
- Reichenauer , T.G., Germida, J. J. 2008. Phytoremediation of organic contaminants in soil and groundwater. ChemSusChem. 1: 708-717

ANEXOS