



UNIVERSIDAD
PRIVADA
DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“TRATAMIENTO DE RELAVES MINEROS”: UNA
REVISIÓN SISTEMÁTICA EN LA LITERATURA
MINERA DE LOS ÚLTIMOS 10 AÑOS.

Trabajo de investigación para optar al grado de:

Bachiller en Ingeniería de Minas

Autor:

Jhon Frans Solano Cueva

Asesor:

Dr. Óscar Hugo Silva Rojas

Lima - Perú

2018

DEDICATORIA

La concepción de este proyecto está dedicada a mis padres, pilares fundamentales en mi vida. Sin ellos, jamás hubiese podido conseguir lo que hasta ahora. Su tenacidad y lucha insaciable han hecho de ellos el gran ejemplo a seguir y destacar, no solo para mí, sino para mis hermanos y familia en general.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por bendecirnos la vida, por guiarnos a lo largo de nuestra existencia, ser el apoyo y fortaleza en aquellos momentos de dificultad y de debilidad.

Gracias a mis padres: Rocío Marilú Cueva Pérez y Luis Alberto Solano Lingan, por ser los principales promotores de mis sueños, por confiar y creer en mis expectativas, por los consejos, valores y principios que me han inculcado.

Agradezco de manera muy especial a mis docentes de la Universidad Privada del Norte-Cajamarca, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de nuestra profesión y por su valioso aporte para nuestras investigaciones.

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.....	14
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	23
REFERENCIAS.....	25
ANEXOS	26

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cuantiación de estudios y porcentaje de aplicación	20
Tabla 2: Cantidad de estudios por idioma.....	21
Tabla 3: Terminología aplicada a la búsqueda de estudios	22

ÍNDICE DE FIGURAS

Ilustración 1: Imagen muestra de una búsqueda de estudios con " Tecnología en relaves mineros"	16
Ilustración 2: Imagen muestra de una búsqueda de estudios con "Relaves mineros"	16
Ilustración 3: Estudios realizado en los diversos años. Fuente: Propia.....	20
Ilustración 4: Cantidad de estudios por idioma. Fuente: Propia	21
Ilustración 5: Terminologías aplicada a la búsqueda de estudios. Fuente: Propia.....	22

RESUMEN

El presente estudio enfoca en la búsqueda de información acerca del tratamiento de relaves mineros, las herramientas, técnicas, innovaciones que se han usado en un lapso de tiempo de 10 años de investigación para que se pueda contrastar a la contaminación que se genera gracias a los contaminantes. También se conocen acciones las cuales han servido para sacarle el mayor provecho posible a las cosas que ya no tienen valor o uso y convertirlas en beneficio económico, personal y social,

PALABRAS CLAVES: Se han tenido en cuenta las palabras siguientes palabras clave: "systemic review", "mining waste", "mining tailings" y también "mining waste treatments".

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

La presente revisión sistemática está enfocada en estudios realizados sobre desechos mineros y tratamiento de desechos mineros. En síntesis, como profesionales sabemos que este tipo de temas son muy importante ya que es aquí donde se debe mostrar a la sociedad que estamos aptos para cuidar el medio ambiente y además contamos con las herramientas necesarias para contrastar los impactos ambientales que la industria minera pueda alcanzar.

Revisando algunas referencias de autores, se enfatiza la importancia del manejo de desechos mineros y como muestra de ello se tiene a Carvalho, F. (2017) quien en su revisión acerca de la *Industria Minera y desarrollo sostenible: es hora de cambiar*, afirma lo siguiente:

“Se espera que los proyectos mineros nuevos y actuales incorporen las lecciones de las actividades mineras del pasado (...), el EIA de los proyectos mineros debe abarcar todo el ciclo de vida de la mina, incorporar la evaluación de impactos negativos y beneficios sociales también (...), además se deben mejorar las leyes mineras en muchos países para incluir nuevas buenas prácticas mineras”.

Posteriormente se hace referencia a Sánchez, J. et al. (2017) en su revisión denominada: *Mining Waste and Its Sustainable Management: Advances in Worldwide Research*. Quien resalta lo siguiente:

El aumento en artículos y revistas de residuos mineros indicó que esta línea de investigación está recibiendo una creciente atención mundial. Se debe a varios factores, incluidas las preocupaciones sobre las amenazas ambientales, una mayor conciencia social (...). Se ha demostrado que la minería la gestión de desechos y residuos mineros son dos campos de investigación con una marcada tasa de

crecimiento diferencial dentro del campo de la investigación minera en todo el mundo.

Se hace presente la escuela de Procesamiento de Minerales y Bioingeniería, Central South University, Changsha. (2017) en su revisión: *Fitorremediación in situ de relaves mineros*, con relación a desechos mineros expresa lo siguiente:

Los relaves de las minas son perjudiciales para el crecimiento natural de las plantas debido a sus características físico-químicas, como alto pH, alta salinidad, baja capacidad de retención de agua, altas concentraciones de metales pesados y deficiencias en la materia orgánica y fertilidad del suelo. Por lo tanto, la remediación de los relaves mineros se ha convertido en un tema clave en la ciencia y la ingeniería ambientales. La fitorremediación, una tecnología in situ rentable, se está convirtiendo en el método de remediación más prometedor para los relaves mineros al introducir especies de plantas tolerantes.

Se han mostrado conceptualizaciones claves de diferentes autores las cuales indican e inciden de que se deben crear, innovar o generar mayor investigación en lo que respecta a tratamiento de desechos o relaves mineros teniendo en cuenta las experiencias pasadas sustentadas en actividades mineras, de tal manera que se pueda generar un desarrollo sostenible y sustentable para la sociedad, específicamente en los lugares de impacto donde se desarrollan las labores.

Entonces, con relación al tema de estudio (previa identificación) se puede manifestar que existe una interrogante la cual se tiene que resolver a futuro y que consigna de la siguiente manera: ¿Qué investigaciones o innovaciones se han realizado con respecto al tratamiento de desechos o relaves mineros en los últimos **10** años?

Finalmente, la revisión sistemática expuesta tiene como objetivo plantear la *revisión*, además de evaluar e interpretar las principales revisiones sistemáticas encontradas en similitud al tema. También el de conocer las herramientas, técnicas, procedimientos e innovaciones investigativas que se han empleado para poder contrastar a la contaminación por el efecto de relaves o desechos mineros y aquellas posibles alternativas para poder generar beneficios a favor de la población.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

El actual estudio está enfocado en una "revisión sistemática de literaturas científicas" Este tipo de estudio se encarga de encontrar, medir, analizar y discutir las determinadas investigaciones, innovaciones tecnológicas y tipos de tratamientos que se han aplicado para controlar los efectos ambientales causados por desechos mineros.

Búsqueda de información

La búsqueda de información se desarrolló a través de palabras clave concerniente al tema de investigación y se usó como mecanismo de búsqueda las bibliotecas virtuales.

Características de los estudios seleccionados

En tanto, algunas características de los estudios seleccionados han sido la fecha de selección la cual ha englobado un periodo de 10 años; el idioma de publicación ya que se tiene información en inglés, así como también en castellano y con respecto a los estados actuales de publicación de las investigaciones, muchas de las cuales se encuentran restringidas por derechos de autor, otras solo para lecturas visuales y también existen algunas con libre acceso de información teniendo un archivo pdf adjunto.

Descripción de las fuentes de información.

Las fuentes de información o base datos virtuales usadas han sido: *EBSCO* y *e-libro/proquest central* plataformas de información académica muy completas que permiten optimizar el estatus de tiempo, perfil académico, tipo de recurso y otras limitaciones que son favorables de acuerdo a la información solicitada. Se ha realizado la búsqueda a través de palabras clave que se mencionan en el siguiente párrafo.

Estrategias de búsqueda de estudios.

Se ha considerado la selección de palabras clave para la búsqueda de información en las diferentes bibliotecas (Base de datos virtuales). Estas palabras clave son: "Tratamiento de desechos mineros", "Tecnología en relaves mineros", "Control of mining waste", "Relaves en minería" y "Tratamiento de pasivos mineros". En tanto, es a través de las claves anteriores que se ha logrado compilar la información necesaria y requerida para el estudio investigativo.

Criterios de elegibilidad o exclusión de estudios.

Inicialmente se han obtenido bastantes resultados en un margen de años extenso y para un ámbito mixto (no específicamente académico). En consecuencia, se ha seleccionado una conciliación en el *tiempo* que fueron 10 años (2008 – 2018), un ajuste en el *tipo de recurso* dentro del cual se eligió *recurso académico* y la selección de *idiomas* los cuales fueron el *inglés* y *castellano*. Luego de todos los reajustes quedaban ya pocas fuentes de las cuales solo algunas contenían información relevante y el resto no eran suficientes ya que no guardan relación con el tema y otras no tenían accesibilidad por derechos de autor, idioma y rango de tiempo. Para ello, se han desarrollado nuevas búsquedas con las diferentes palabras clave seleccionadas al inicio de la investigación, teniendo así nuevos resultados y generando más fuentes de investigación que posteriormente serán compiladas para su desarrollo.

Método de extracción de información.

El método de extracción de información ha sido mediante una matriz donde se muestran, autores, año de publicación, título de la investigación, título de la fuente de investigación, biblioteca virtual, abstract, palabras clave de autor, palabras clave propias y los motivos de inclusión o exclusión de las investigaciones. A continuación, una imagen a modo de muestra de la matriz trabajada ya que es imposible su copia por ser muy extensa.

1	2	3	4	5	6
Autores	Título	Year	Source title	Link	Affiliations
<p>Moriano Salazar, Eduardo</p>	<p>Sistema de tratamiento de aguas ácidas producidas por relaves y desmontes mineros generados en el proceso de extracción de oro.</p>	<p>2014</p>	<p>UNIVERSIDAD DE CANTABRIA POLITECNICA DE CANTABRIA From: OAJale®, provided by the OAJale® Cooperative.</p>	<p>EBSCO</p>	<p>México</p>
<p>Suazo Gorrasto, Fourné Andy, Haza Alajó, J.</p>	<p>Estudio experimental de la respuesta geomorfológica de relaves en pasta cementada utilizados para el relleno de caserones.</p>	<p>2016</p>	<p>Ciencias y Proyectos, 2016, Issue 17, pp.12-17</p>	<p>EBSCO</p>	<p>Remo Lindo</p>
<p>Marín Puga, Ivana, Jarell,</p>	<p>Estudio del efecto de polygogon australis sobre las propiedades fisicoquímicas de un sustrato de relave minero de la planta Santo Domingo, Paposo, II Región de Chile/Calderón (recurso electrónico)</p>	<p>2008</p>	<p>EMIS University - News Sources</p>	<p>e-libro/ Proquest</p>	<p>[Santiago de Chile] Universidad de Santiago Central de Chile, 2008.</p>

CAPÍTULO III. RESULTADOS

Selección de estudios.

La selección de estudios se ha realizado a través de buscadores y bibliotecas virtuales dentro de las cuales esta EBSCO y e-libroo/Proquest central.

Se han realizado diversas búsquedas y en diferentes etapas. En muchas de las etapas las búsquedas han sido sin limitaciones ni conocimiento de ajustes necesarios. Entonces, se ha creído relevante detallar dos etapas de búsqueda realizada, para ello en las siguientes afirmaciones se sintetiza que las indagaciones han sido desarrolladas con diferentes terminologías o palabras clave, ajuste con respecto al tiempo, tipo de recurso, idioma, materias, nacionalidades y otros recursos que han permitido tener una mejor selección en términos generales.

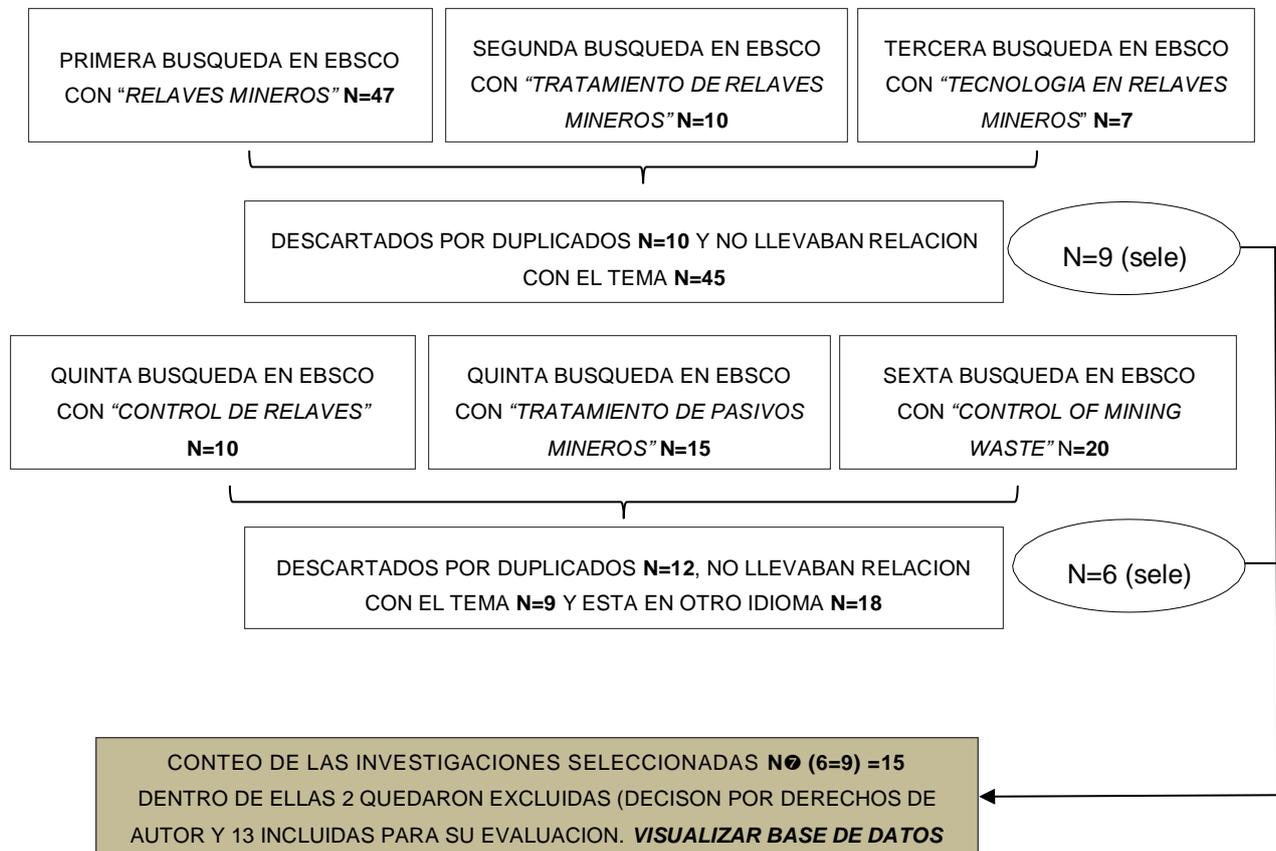
La primera etapa formal se desarrolló un tiempo antes y ha constado de tres subetapas con diferentes terminologías de búsqueda. Entre todas han sumado un total de 64 estudios y de los cuales 10 han sido duplicados y 45 no cumplían con al menos una relación con el tema (esto a grandes rasgos analíticos y por una perspectiva general). De tal manera que de todos los estudios quedaron solamente 9.

La segunda etapa formal se realizó a un corto tiempo después y como la anterior también ha constado de tres subetapas con las mismas indicaciones. Sumaron un total de 45 estudios encontrados y de los cuales 12 se descartaron por duplicidad, 9 por una nula relación con el tema y 18 porque su idioma era inaccesible para entender. En tanto, después del descarte solo quedan 6 estudios.

Finalmente, haciendo una suma de las dos etapas formales de búsqueda se tienen 15 estudios los cuales se han extraído a través de una matriz de datos Excel en donde *de los 15 estudios*

ya seleccionados se ha creído conveniente excluir a dos estudios detectados a en un tiempo de retardo ya que no cuentan con permisos de autor para ser observados y que sin embargo se han quedado guardados en la matriz pero que ya no serán sintetizados en el ítem caracterización de los estudios. Para un mayor entendimiento se ha desarrollado un diagrama de flujo en donde se puede apreciar la distribución de selección de estudios.

DIAGRAMA DE FLUJO DE SELECCIÓN DE ESTUDIOS



Se muestran dos imágenes como muestra de la búsqueda de estudios en relación a la terminología “Relaves mineros” y “Tecnología en relaves mineros”. Así en paralelo se han realizado las demás búsquedas.

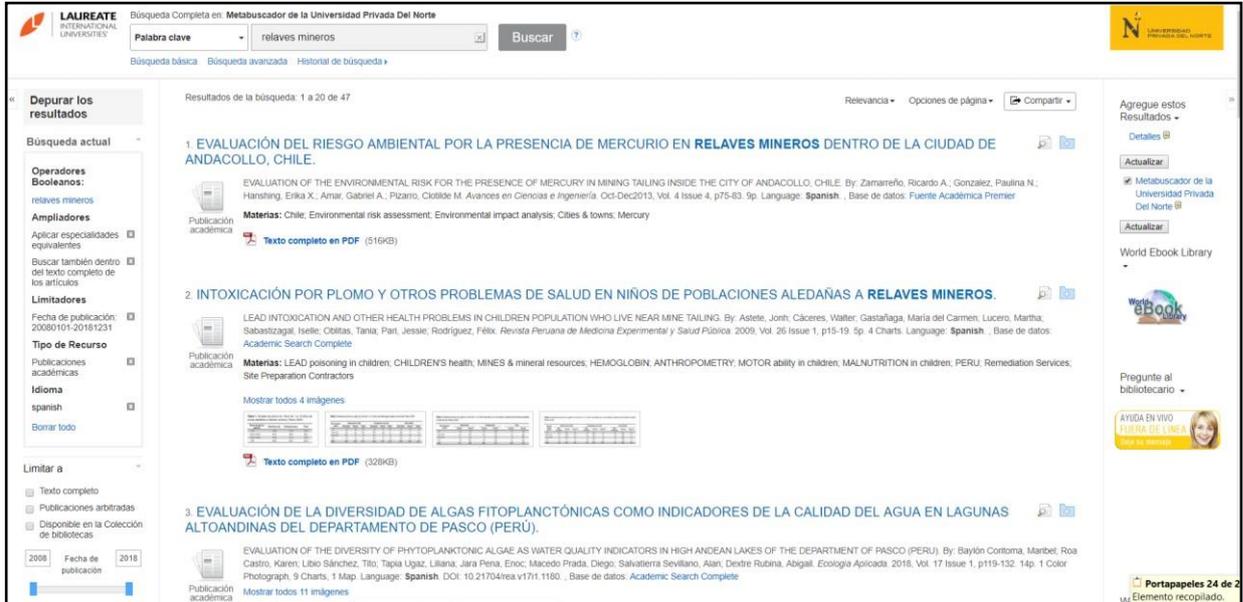


Ilustración 2: Imagen muestra de una búsqueda de estudios con “Relaves mineros”.



Ilustración 1: Imagen muestra de una búsqueda de estudios con "Tecnología en relaves mineros"

Características de los estudios.

Cada uno los estudios serán caracterizados de acuerdo con el tipo de datos o información extraída en la base de datos. Cabe señalar que casi todos los estudios contienen la misma información.

1. Sistema de tratamiento de aguas ácidas producidas por relaves y desmontes mineros generados en el proceso de extracción de oro.

Se pudo extraer la información relevante a: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

2. Estudio experimental de la respuesta geomecánica de relaves en pasta cementados utilizados para el relleno de caserones.

Se pudo extraer la información relevante a: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de exclusión.

3. Estudio del efecto de polypogon australis sobre las propiedades fisicoquímicas de un sustrato de relave minero de la planta Santo Domingo, Papos, II Región de Chile Calderón.

Consignado lo siguiente: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

4. La biolixiviación: solución ambiental para los desechos de la industria minero-metalúrgica

Extracción de los siguientes datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

5. Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design - (Pautas para el diseño de basurero y almacenamiento de desechos mineros)

Extracción de la siguiente información: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

6. Using tailings and waste products of mining and processing plants for the construction of highways - (Uso de relaves y productos de desecho de plantas mineras y de procesamiento para la construcción de carreteras)

Datos extraídos: Autor (es), título, año, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, tipo de documento y motivo de exclusión.

7. Los residuos mineros.

Información de datos extraídos: Autor (es), título, año, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias y motivo de inclusión.

8. Gestión de riesgos del relave y su incidencia en la contaminación ambiental en la compañía minera Laytaruma S.A. de la región Ayacucho, año 2015.

Datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

9. Potencial de Recuperación Energética en relaves de la Gran Minería, Factibilidad Técnico-Económica.

Datos extraídos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

10. Sistema de tratamiento de aguas ácidas producidas por relaves y desmontes mineros generados en el proceso extracción de oro. Tratamiento de aguas acidas producidas por relaves y desmonte mineros.

Consenso de datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

11. Tratamiento de aguas de efluentes minero – metalúrgicos utilizando, métodos pasivos y activos en sistemas experimentales.

Datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

12. Contribution of bioremediation to solve pollution problems and its relationship with sustainable development - (Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible)

Datos extraídos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave del autor, palabras clave propias, y el motivo de inclusión.

13. Tecnología de Pastas Ofrece Una Forma Ecológica para Eliminar Relaves.

Consenso de datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave propias, tipo de documento y el motivo de inclusión.

14. Estrategias de Manejo de Relaves para Satisfacer las Demandas de Hoy en Día.

Consenso de datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, abstract, palabras clave propias, tipo de documento y el motivo de inclusión.

15. Tecnología Electrolítica Orientada Hacia los Valores de Metales Residuales en Relaves.

Caracterización de datos: Autor (es), título, año, título de la fuente, fuente de estudio, afiliación, abstract, palabras clave propias, tipo año de documento y el motivo de inclusión.

Análisis global de los estudios.

Se tomarán en cuenta los 15 estudios considerados para realizar reportes de porcentajes con respecto a algunos estudios.

Se consignan entonces la cantidad de estudios encontrados en el rango de 10 años entre 2008 y 2018, detallando la cantidad de estudios encontrados por año y el porcentaje perteneciente a cada uno de ellos.

Tabla 1: Cuantiación de estudios y porcentaje de aplicación

Etiquetas de fila	Cuenta de Title
2008	1
2012	3
2013	1
2014	2
2015	2
2016	1
2017	5
Total general	15

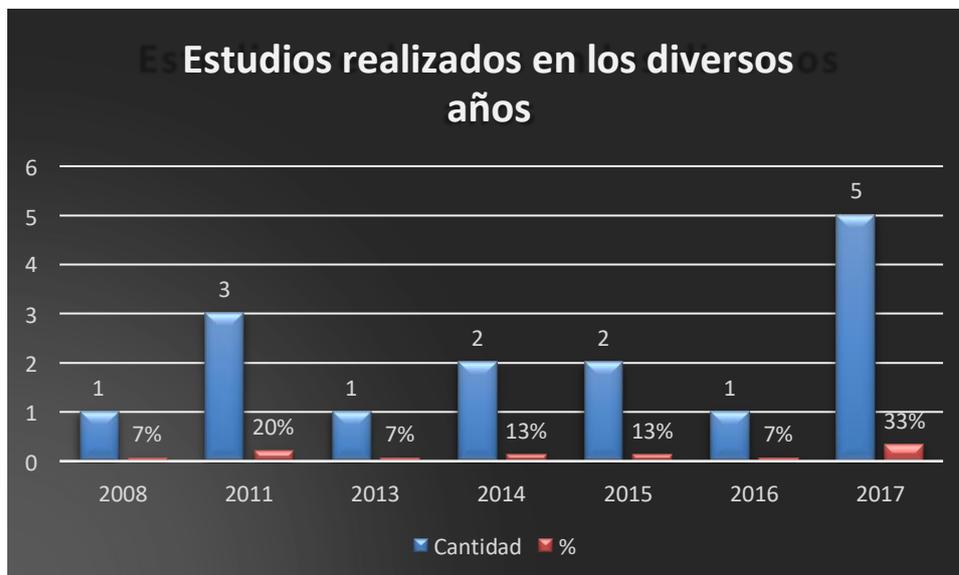


Ilustración 3: Estudios realizado en los diversos años. Fuente: Propia

Se observan los estudios encontrados en diferentes idiomas. Todos ellos son descifrados en cantidad de acuerdo con el año de investigación.

Tabla 2: Cantidad de estudios por idioma.

Año	Castellano	Inglés	Total general
2008		1	1
2012		3	3
2013		1	1
2014		2	2
2015		2	2
2016		1	1
2017		3	5
Total general		13	15

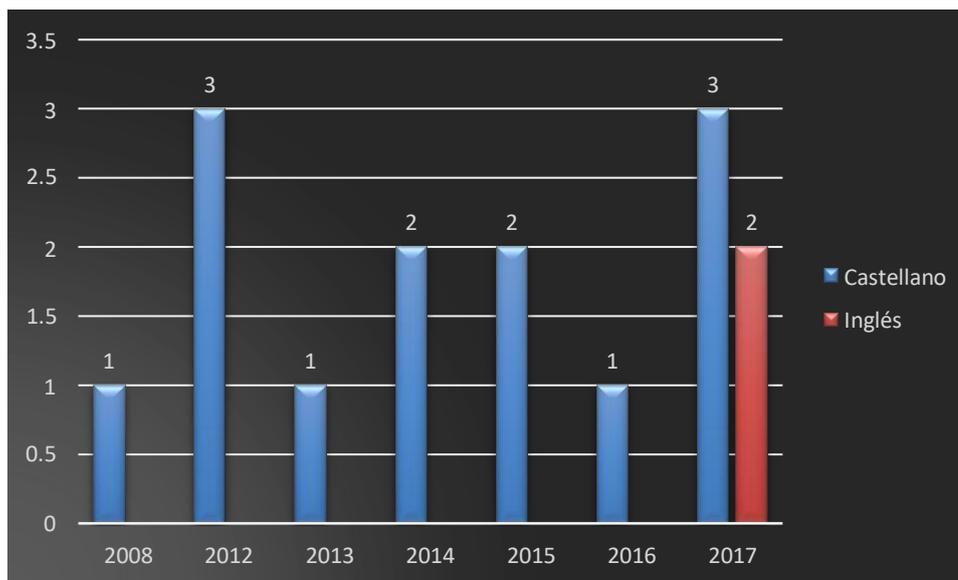


Ilustración 4: Cantidad de estudios por idioma. Fuente: Propia

Para complementar se han desarrollado búsqueda estudios de acuerdo a los años y se ha usado diferentes terminologías como se visualiza posteriormente.

Tabla 3: Terminología aplicada a la búsqueda de estudios.

Año y terminología	Cntidad de estudios
2008	1
Relaves mineros.	1
2012	3
Relaves en minería.	1
Tratamiento de desechos mineros.	1
Tratamiento de relaves.	1
2013	1
Tecnología en Relaves mineros	1
2014	2
Tecnología en Relaves mineros	1
Tratamiento de desechos mineros.	1
2015	2
Tecnología en Relaves mineros	1
Tratamiento de pasivos mineros.	1
2016	1
Tecnología en Relaves mineros	1
2017	5
Control de relaves.	1
Control of mining waste	1
Desechos mineros	1
Mining waste.	1
Tratamiento de pasivos mineros.	1
Total general	15



Ilustración 5: Terminologías aplicada a la búsqueda de estudios. Fuente: Propia

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Con respecto a la pregunta denominada: ¿Qué investigaciones o innovaciones se han realizado con respecto al tratamiento de desechos o relaves mineros en los últimos **10** años?

Se puede concluir que se ha podido encontrar revisiones las cuales indican que existen diversas formas de tratar o sacarle provecho a un material ya sea pasivo y relave minero que se encuentra contaminado. Por ejemplo, una forma innovadora es la aplicación de la fitorremediación que consta de determinadas plantas con la capacidad extractiva de metales entre sus órganos de tal manera que se pueda reducir el contenido de Pb principalmente y tener un suelo apto para actividades agrícolas. Otra forma es aplicando la tecnología en biorremediación que hace uso de ciertos tipos de bacterias para la eliminación de contaminantes. Adicionalmente se pudo encontrar que se cuenta con la Biolixiviación una tecnología limpia amigable con el medioambiente en la disolución y recuperación de valores metálicos, en los residuos de las plantas de beneficios y metalúrgicas y finalmente se menciona de que se puede usar la llamada tecnología de pastas la cual significa que en lugar de bombear relaves no tratados desde la concentradora a los estanques para relaves, se saca el agua a la arena hasta un punto en que esta no se segrega mientras se deposita.

Dentro de las limitaciones se hace referencia a la escasez de información llámese como Revisión Sistemáticas de temas relacionados para la elaboración de la misma.

Otra de las limitaciones fue el encontrar información en el idioma inglés ya que es un poco tedioso traducirla.

En relación a las recomendaciones, sería siempre facilitar el uso plataformas virtuales como Proquest, Scielo, entre otras para que se tenga una información científica apropiada y fidedigna.

Se deberán maximizar el estudio de revisiones sistemáticas, así como también proyectos científicos para incrementar el valor personal como estudiantes y profesionales en un futuro no muy lejano.

REFERENCIAS

- DOMÍNGUEZ RAMOS, E. M. 1. Cher@cipimm. Minem. C. et al. La biolixiviación: solución ambiental para los desechos de la industria minero-metalúrgica. (Spanish). Pedagogía Profesional, jan. 2015. v. 13, n. 1, p. 56–67. Disponible em: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eue&AN=113229354&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>
- Hawley, P. M., & Cunning, J. (2017). Guidelines for Mine Waste Dump and Stockpile Design. Clayton, Vic: CSIRO PUBLISHING. Retrieved from <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1501040&authtype=shib&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>
- Patrick I. James. Tecnología Electrolítica Orientada Hacia los Valores de Metales Residuales en Relaves. Equipo Minero. 2014;9(2):22-25. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=95589204&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>.
- Tecnología de Pastas Ofrece Una Forma Ecológica para Eliminar Relaves. Equipo Minero. 2013;8(1):28. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=85822689&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>.
- Walker S. Estrategias de Manejo de Relaves para Satisfacer las Demandas de Hoy en Día. Equipo Minero. 2016;11(1):18-24. <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=114480610&lang=es&site=eds-live&custid=s4509042>.

